

A 457.110

Prof. V. Čepinskis

ATOMAS

(Elektrinė Materijos Teorija)

Žymiai praplėstas pranešimas, padarytas 1924 m. lapkričio 5 d.
Iame Lietuvos Inžinierių ir Architektorių Suvažiavime.

Atspausdinta iš
gamtos ir gretimų mokslų žurnalo
„Kosmos“
1924/25 m.



Prof. V. Čepinskis

ATOMAS

(Elektrinė Materijos Teorija)

Zymiai praplėstas pranešimas, padarytas š. m. lapkričio 5 d.
Iame Lietuvos Inžinierių ir Architektorių Suvažiavime.

Atspausdinta iš
Gamtos ir gretimų mokslų žurnalo
„Kosmos“



KAUNAS
1924.

§ 1. Graikų atomistika. Naujųjų laikų atomistinės empiriniai pagrindai. Perijodinė elementų sistema. Vienybės materijos ideja. Atominės elektros struktūros hipotezė.

Nuo Empedoklio ir Demokrito laikų iki šių dienų trunka pastangos duoti aiškų dinaminį pasaulio vaizdą. Paminėti čia graikų galvotojai tvirtino, kad pasaulį sudaro mažiausios medžiagos dalelės ir kad visa pasaulio procesų ir apamai fenomenų įvairenybė yra išdava tų dalelių judėjimo, kurio dėka susidaro įvairių įvairiausių konfigūracijos. Demokrito supratimu tos dalelės nebedalinamos mechanškai ir todėl jos pavadintos atomais.

Atgimus mokslui XVI ir XVII šimtmetyje atominė pasaulio struktūra tai vienu, tai kitu pavidalu buvo skelbiama tai filosofų, tai matematikų ir fizikų raštuose, bet iki XIX šimtmečio pradžios neišėjo iš grynų teorinių spekuliacijų srities. 1804 metais anglas John'as Dalton'as paskelbė žinomą kartotinių santykių dėsnį, charakteringą visiems grynai chemiškiesiems procesams. Ieškant tam grynai empiriniam dėsniui teorinio pagrindo, Daltonas atgaivino graikų atomistiką, suteikęs jai didesnę aiškumą ir tvirtą empirinį pagrindą. Kaip žinoma, Daltono dėsnio esmė yra ta, kad kiekvienas chemijos elementas įeina į chemijos reakcijas tam tikru medžiagos kiekiu arba du syk didesniu kiekiu, arba tris syk didesniu kiekiu ir t.t., skaitant ant bet kurio, bet visuomet to paties, kiekio kito chemijos elemento. Suprasti tokį dalyką galima tik tada, jeigu priimti, kad kiekvienas chemijos elementas, arba, tiksliau kalbant, vientisinis kūnas, sudarytas iš daugybės vienodų dalelių, nelyginant kaip žirnių maišas, ir kad dviejų elementų susijungimai eina ta prasme, kad, sakysime, m tokių dalelių vieno elemento kombinuojasi su n dalelių kito elemento, esant m ir n sveikiems skaičiams. Šitos dalelės, arba tie mažiausi medžiagos kiekiai, kuriais chemijos elementai dalyvauja chemijos reakcijose, einant graikų pavyzdžiu, buvo pavadinti atomais, ir ilgą laiką vienas iš svarbiausių chemijos uždavinių buvo tas, kad nustatyti vadinamus atominius svorius įvairiems chemijos elementams (atominiais svoriais chemijoje vadinasi relatyvūs skaičiai, priėmus lengviausio chemijos elemento, vandenilio, atominį svorį per vienetą) ir surast, kaip pareina fizinės ir cheminės to ar kito vientisinio kūno savybės nuo jo atominio svorio.

Taigi, apie praeito šimtmečio vidurį susitaupė daug medžiagos augščiau nurodyta prasme ir anglas Newlands, remdamasis šita medžiaga, paskelbė savo oktavų dėsnį, kuris rodė, jog fizinės ir cheminės elementų savybės yra jų atominių svorių perijodinė funkcija. Newlands'o oktavų dėsnio esmė ta, kad jeigu parašyti iš eilės visus elementus, pradedant nuo lengviausio vandenilio ir sekant jų atominį svorį, tai per septynetą elementų svarbiausieji chemijos požymiai atsikartoja. Kaip pavyzdį, duosime pirmutines dvi Newlands'o oktavas:

Li	Be	B	C	N	O	Fl
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	...				

Taigi, mes pradedame nuo elemento ličio atominio svorio 7, aiškaus šarminio metalo, kuris energingai jungiasi su deguonim ir smarkiai reaguoja su vandeniu, kurio oksidas duoda su vandeniu stiprų šarmą ir kuris yra vienvaivertingas elementas. Kitas elementas berilis atominio svorio 9,1, jau dvivaivertingas, reaguoja su deguonim silpniau, jo oksidas duoda su vandeniu silpnesnį šarmą, bet vis delto tas elementas turi dar aiškų meta-

lo charakterį. Trečias iš eilės elementas boras, atominio svorio 10,9, duoda su deguonim oksidą, kuris dažniausiai reaguoja kaip silpna rūgštis, bet kai kuriais atvejais reaguoja kaip šarmas. Taigi, jo cheminis charakteris labai silpnas. Elementas trivalentingas. Sekantis pažymėtoje eilėje elementas bus anglies elementas. Jo junginys su deguonim, su vandeniu duoda aiškią rūgštį. Elementas keturvalentingas ir jokių metalinių požymių nereiškia. Sekantis elementas azotas, atominio svorio 14, duoda su deguonim junginius, kurie su vandeniu sudaro stiprią rūgštį. Elementas penkiavalentingas ir aiškus metaloidas. Sekantis elementas deguonis, atominio svorio 16, reaguoja gangreit su visais elementais, yra šešiavalentingas ir aiškus metaloidas. Septintas eilėje elementas fluoras, atominio svorio 19, nereaguoja su deguonim, bet smarkiai reaguoja su vandeniliu ir duoda vandenilį fluora, kuris su vandeniu sudaro smarkią, vadinamąją, lydymo rūgštį. Elementas septynvalentingas, aiškus metaloidas. Kadangi jis energingai jungiasi su visais metalais ir duoda druskas, tai jis priklauso prie tos grupės elementų, kurie vadinasi haloidais (druskų darytojas). Sekantis iš eilės elementas bus natriis, atominio svorio 23, aiškus metalas, vienvaleentingas, energingai reaguoja su deguonim, jo oksidas duoda su vandeniu stiprų šarmą ir t. t., vienu žodžiu, jis atkartoja visus tuos cheminius požymius, kuriuos jau mes matėme lityje. Sekantis elementas antroje eilėje magnis, divaleentingas, aiškus metalas, bet jau nebe taip energingai reaguoja su deguonim kaip natriis; sekantis aluminis taip pat aiškus metalas ir gana energingai reaguoja su deguonim, bet jo oksidas su vandeniliu duoda silpną šarmą ir su stipriais šarmais tas oksidas elgiasi net kaip silpna rūgštis. Sekantis elementas silicis, panašus į anglies elementą savo cheminiais požymiais, aiškus metaloidas. Taip pat fosforas panašus į azotą, jo oksidas duoda su vandeniu stiprias rūgštis. Sekantis šešiavalentingas elementas siera, aiškus metaloidas ir, pagaliau, sekantis chloras, panašus į fluora, aiškus haloidas. O sekantis aštuntas, skaitant nuo natrio, kalis vėl vienvaleentingas elementas, aiškus šarminis metalas visais savo cheminiais požymiais panašus į natrij, bet dar už jį energingesnis. Taigi, mes čia matome, kad pradedant nuo šarminių metalų mes per elementus, kurių metalinis charakteris silpnėja, prieiname prie aiškių metaloidų ir pasiekiame haloidą, septintą eilėje elementą. O aštuntas eilėje elementas vėl griežtai skiriasi savo cheminiu charakteriu nuo haloido ir atkartoja visus šarminio metalo požymius. Taigi, Newlands manė, kad sudarius iš elementų vieną eilę, sekant jų atominį svorį, toje eilėje aštuntasis, penkioliktasis, dvidešimtas, antrasis ir t. t. elementai atkartos požymius pirmojo elemento, 9-tas, 16-tas, 23-as ir t. t. atkartoja požymius antrojo elemento, vienu žodžiu, pradėjus nuo to ar kito elemento, aštuntasis atkartoja jo požymius. Todel šitas taisyklingumas ir tapo pavadintas oktavų dėsniu.

1867—1871 metais vokietis Lotaras Meyer'is, o ypatingai rusas Dimitras Mendelejev'as išplėtojo ir praplatino paskelbtą Newlands'o principą ir sukūrė vadinamąją chemijos elementų periodinę sistemą, kuri yra ne kas kita, kaip chemijos elementų klasifikacija remiantis jų atominiu svoriu, kurioje fiziniai ir cheminiai elementų požymiai aiškiai reiškiasi kaip periodinė atominio svorio funkcija. Visi elementai toje periodinėje sistemoje (žiūrėk lentelę), parašyti iš eilės pagal jų atominį svorį, pasidalina į devynias grupes; 0, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII. Nulio grupėje randasi neseniai surasti neaktingi elementai—retos oro dujos, kaip helis, argonas, neonas ir t. t. Pirmojoje grupėje randasi vienvalentingi šarminiai metalai, lygiai kaip ir brangieji metalai—sidabras ir auksas. Antro-

Perijodinė Mendelejevo sistema.

Grupė 0	Grupė I	Grupė II	Grupė III	Grupė IV	Grupė V	Grupė VI	Grupė VII	Grupė VIII.
He	H	Be	B	C	N	O	F	
Ne	Li	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
A	Na	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe, Co Ni
	K	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	
Kr	Cu	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	—	Ru Rh Pd
	Rb	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
Xe	Ag	Ba	La etc		Ta	W	—	Os Ir Pt
	Cs	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	—	
Nt	Au	Ra	—	Th	—	U	—	

joje grupėje—vadinamieji šarmų žemės metalai, kaip magnis, kalcis, baris, bet ir tokie metalai kaip cinkas, kadmis, gyvasai sidabras ir radijus. Ta grupė apima divalentinius elementus. Trečioji grupė apima trivalentinius elementus, daugiausia silpnus metalus, ketvirtoji grupė—keturvalentinius elementus, metaloidus ir metalus, penktoji grupė—penkiavalentinius elementus, daugiausia metaloidus, bet ir metalus, šeštoji grupė—šešiavalentinius elementus metaloidus ir metalus, septintoji grupė septinvalentinius elementus, haloidus, ir aštuntoji grupė—aštuonvalentinius elementus, kurie sudaro dvi šeimas: geležies šeimą ir platinos šeimą. O einant iš eilės nuo lengvesnių prie sunkesnių elementų, mes turėsime elementų eilės, kuriose perėjimas nuo haloidų į šarminius metalus bus per neaktingus elementus nulinio grupės vienais atvejais ir per aštuntos grupės metalus ir nulinio grupės neaktingus elementus kitais atvejais.

Išreiškiant grafiškai perijodinės sistemos prasmę, gauname sudėtiną kreivą perijodinę liniją, kurios tačiau nepasisėkė išreikšti matematiška lygtimi, nepaisant daugybės padarytų šituo atveju pastangų.

Praeito šimtmečio pabaigoje šita perijodinė elementų klasifikacija turėjo tokios didelės įtakos chemijos tyrinėjimams, kad, galima sakyti, svarbiausias chemijos uždavinys buvo nustatymas fizikos chemijos požymių kaip jo atominio svorio funkcija ir, apamai, papildymas ir praplėtimas tos perijodinės sistemos, kuri dažnai buvo vadinama net perijodiniu dėsniu. Reikia pasakyti, kad iš esmės ta sistema tiek atitinka tikrąją, jog ji įnešė ne tik didelę tvarką į chemijos tyrinėjimus, bet suteikė galimybes numatyti ir surasti nežinomus naujus elementus. Šitas faktas ypatingai prisidėjo sušiprint perijodines sistemos reikšmę chemijoje.

Taigi, pabaigoje XIX šimtmečio fizikai ir chemikai turėjo darbo su 90 įvairių rūšių materijos. Reikia pasakyti, kad nuo seniausių laikų visuomet smarkiai reikėsi tendencija suprastinti kiek galima labiau materijalinio pasaulio vaizdą. Visuomet buvo daromos pastangos suprasti begalinę įvairenybę materijalinių procesų, išeinant iš vienos rūšies materijos. Visuomet materijos vienybė buvo idealas, kurio siekė galvotojai ir mokslininkai, kurie statė sau uždavinį surasti materijos struktūrą. Iš pradžios, nustatant įvairiems elementams atominius svorius, priėmus vandenilio atominį svorį per vienatę, buvo prieita prie sveikų skaičių. Remdamasis tuo Proust'as dar pirmoje pusėje XIX šimtmečio manė, kad visi elementai yra sudaryti iš vandenilio ir kad vandenilis yra pagrindinė materija. Bet tobulinantis chemiškos analizės ir sintezės metodams ir tobulinant matavimo aparatus,

ypač svarstyklės, atominiams įvairių elementų svoriams buvo nustatyti tikresni skaičiai ir tada pasirodė, kad tie skaičiai labai dažnai yra su trupmena, kurios jokių būdu negalima buvo skaityti matavimo klaidų ribose. Atominių svorių skaičiai išeina patogesni ir prastesni priėmus deguonies atominį svorį 16. Tada iš vandens sudėties eina vandenilio atominis svoris 1,008. Aplamai, tada dauguma elementų turi atominius svorius, išreiškiamus sveikais skaičiais ir todėl šiandien chemijoje priimti elementams atominiai svoriai išeinant iš deguonies atominio svorio 16. Bet vis dėlto ir šituo atveju visai eilei elementų priseina paskirti atominius svorius su trupmenomis.

Kadangi iki pabaigos XIX šimtmečio nebuvo žinoma nei vieno atsitikimo elementų transformacijos, kitaip sakant skilimo to ar kito elemento arba pavertimo vieno elemento į kitą, o pastangos šita prasme buvo daromos nuo viduramžių alchemikų laikų, kurie stengėsi iš paprastų metalų gauti auksą, ir tokios pastangos nesiliovė iki paskutinių laikų,—tai XIX šimtmečio pabaigoje kai kurie fizikai ir chemikai, ypač pagarsėjęs Mendelejevas manė, kad elementai neskaldomi, kad jie yra individualybės nešiotojai gamtoje, kad jų atomai amžini ir yra tikri fizinio pasaulio šulai. Taigi, toksai rimtas mokslininkas kaip Mendelejevas į pastangas prieit suprastint materijalinio pasaulio vaizdą, skaitant kad visi elementai sudaryti iš vienos pagrindinės medžiagos, žiūrėjo kaip į tuščią svajonę, neturinčią nieko bendra su tikrybe.

Bet panašios pastangos nesiliovė tarpe fizikų ir chemikų, ypač fizikų, kuriems buvo žinomi faktai visiškai nesuprantami, jeigu atinesti koncepcija atomo, kaipo sudėtinio padaro. Antai, įvairenybė elementų linijų spektrų dujų buvyje, taip sakant, reikalauje reikalavo sudėtinės atomo prigimties. Be to, ir pati periodinė sistema aiškiai rodė, kad iš esmės tarp atomų įvairių elementų turi būti kas tai bendra, jeigu elementų tarpe įvairaus atominio svorio dažnai skirtingų fizinių ypatybių reiškiasi vis dėlto tie patys pagrindiniai cheminiai požymiai. Pagaliau, kaip tik XIX šimtmečio paskutiniame dešimtmetyje buvo surasti vadinamieji radioaktingi elementai, kaip radijus, polonis, aktinis ir kiti, kuriems aiškiai buvo konstatuota, kad jų atomai transformuojasi, duoda emanacijas, kurios transformuojasi toliau ir duoda kitos rūšies elementus. Todėl artinantis XX šimtmečiui elementų transformacijos, atomų sudėtinės prigimties ir materijos vienybės ideja atgimė iš naujo ir šiandien galima sakyti pagavo didžiąją daugumą fizikų ir chemikų.

Tai idejai atgimt smarkiai prisidėjo elektrolizės procesų tyrinėjimas ir elektros išsikrovimų arba elektros srovės sekimas smarkiai praskiestose dujose. Dar 1835 metais pagarsėjęs Anglijos mokslininkas Mykolas Faraday'us paskelbė pagrindinius elektrolizės dėsnius. Faradejus bandymo keliu konstatavo, kad einant srovei per laidininkus antros rūšies, vadinasi per šarmų, rūgščių ir druskų skiedinius arba per šarmus, rūgštis ir druskas prie augštų temperatūrų ištirpintame stovyje, tie chemijos junginiai skyla ir skilimo produktai nugula ant elektrodų—elektroneigiami ant anodo, arba plius elektrodo, ir elektroteigiami ant katodo, arba minus elektrodo. Toliau jis konstatavo, kad einant tai pačiai srovei per tą patį laiką per eilę elektrolitinių indų su įvairiais elektrolitais, kiekiai elementų, nugulusių ant elektrodų, santykiuoja kaip tų elementų cheminiai ekvivalentai. Vadinasi, kiekiai elementų, nugulusių ant elektrodų, yra proporcingi jų cheminiams ekvivalentams. Be to, Faradejus konstatavo, kad tie kiekiai proporcingi srovės stiprumui ir laikui. Taigi, iš čia eina, jog reikalingas tas pats kiekis elektros, kad iškrautų ant elektrodų tokius kiekius įvairių ele-

mentų, kurie yra lygūs jų cheminiams ekvivalentams. Šitiems Faradejo dėsniams tinkamai interpretuoti ir elektrolitiniams procesams nušviesti apšviesti antroje pusėje XIX šimtmečio Arrhenius ir kiti paskelbė garsią elektrolitinės disociacijos teoriją, arba hipotezę, einant kuria, šarmių, rūgščių ir druskų skiediniuose bent dalis medžiagos randasi jau suskaldytame būvyje pavidalu atomų arba atomų grupių su elektros kroviniais. Pridėjus prie elektrodų tam tikrą potencialų skirtumą, tie atomai arba atomų grupės su teigiamais kroviniiais traukiami prie minus elektrodo (katodo), su neigiamais kroviniiais traukiami prie plus elektrodo (anodo). Taigi, vieni slenka anodo link, kiti slenka katodo link. Vieni neša su savimi neigiamą elektrą, kiti teigiamą, pasiekę katodą neutralizuojasi ir, arba pasirodo ant elektrodo kompaktinių metalų pavidalu arba elementarinių dujų pavidale, kaip vandenilis, deguonis, chloras ir t. t., arba pagaliau, pasiliuosavę nuo elektros krovinų, reaguoja su elektrolitu ir duoda antros eilės produktus. Šitie atomai arba atomų grupės su elektros kroviniiais tapo pavadinti dar Faradejo jonais, nuo graikų žodžio *ion*, kas reiškia keleivis, nes jų slinkimu, visokiais žvilgsniais panašiu į konvekciją, susidaro tas procesas elektrolituose, kurį mes vadiname elektrolitų elektros laidumu.

Kadangi jonai (anjonai—neigiami jonai, katjonai—teigiami jonai) yra atomai arba atomų grupės (radikalai) su elektros kroviniiais, tai jonai būna vienvaiventingi, divaiventingi, trivaiventingi ir t. t. O kadangi einant Faradejo dėsniu elementų cheminiai ekvivalentai arba radikalų ekvivalentai reikalingi yra to paties elektros kiekio, kad išsikrautų ant elektrodų arba kad pereitų nuo elektrodo į jonų stovį, tai aišku, kad divaiventingi jonai turi du syk didesnius elektros krovinius kaip vienvaiventingi, trivaiventingi—tris syk didesnius ir t. t. Vienu žodžiu, žiūrint į jonus kaip į junginius elektros ir paprastos materijos, Daltono kartotinių santykių dėsnis veikia ir tokiems junginiams: elektros kiekiai, kurie jungiasi su tuo ar kitu atomu arba net ir su įvairiais atomais, visuomet santykiuoja kaip eilė nedidelių paprastų sveikų skaičių. Pažymėsime tą elektros kiekį, kuris jungiasi su cheminiu ekvivalentu, sakysime, vandenilio, raide *e*. Tad su divaiventingu atomu visuomet bus sujungta $2e$, su trivaiventingu atomu $3e$ ir t. t. Pagaliau ir to paties elemento atomai vienu atveju gali būti vienvaiventingi, kitu atveju divaiventingi ir pagaliau net trivaiventingi. Sakysime, vario pusdeginio druskose vario atomas vienvaiventingas ir vario jonas turi tik vieną teigiamą elektros krovinį, būtent *e*. O vario oksido druskose vario atomas divaiventingas ir vario jonas tų druskų skiediniuose turi elektros krovinį $2e$. Taip pat geležies jonas gali turėti $2e$ ir $3e$. Taigi, Helmholtz'as 1881 metais pareiškė nuomonę, kad ir paprastos materijos junginiams su elektra reikia pritaikinti atominę teoriją, kaip ji pritaikinta elementų junginiams. Vienu žodžiu, reikia priimti, kad ir elektra, nelyginant kaip ir paprasta materija, turi atominę struktūrą. Šita Helmholtz'o mintis buvo tada mesta tik kaip spėjimas apie elektros prigimtį. Bet nė 20 metų nepraslinkus pasirodė, kad ta mintis sutinka su tikrnybe.

§ 2. Katodo spinduliai. Rentgeno, arba X, spinduliai. J. J. Thomson'o tyrinėjimai ir elektrono atradimas. Wilson'o darbai. Elektrono masės klausimas. Elektromagnetinė masės teorija. Kaufmann'o darbai. Elektrono konstantos: krovinsys, masė ir radijas.

Kartu su nagrinėjimu elektros judėjimo elektrolituose ėjo sekimai elektros judėjimo arba išsikrovimo dujose. Prie paprasto spaudimo dujose

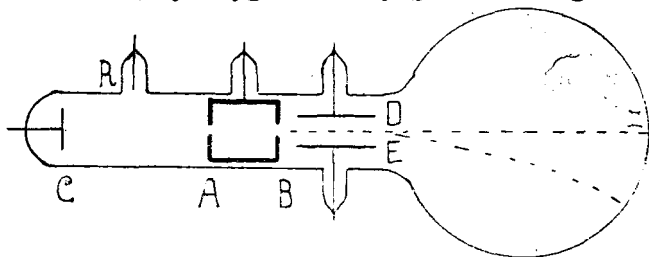
elektros potencialų skirtumas išsilygina kibirkštis arba žaibo pavidalu. Bet mažinant spaudimą, vadinasi, imant praskiestas dujas, išsikrovimas darosi tylus, priima pavidalą šviesos srovės, kurios spalva charakteringa dujomis. Todel vamzdžiai su praskiestomis dujomis ir su elektrodais, vadinamieji Geislerio vamzdžiai, dažnai vartojami dujų linijiniams spektrams sekti. Šitas elektros išsikrovimo procesas, arba elektros srovė, darosi ypatingai įdomi ir reikšminga pasiekus didelį dujų praskiedimo laipsnį, sakysime 0,01 mm. arba net 0,001 mm. gyvojo sidabro stulpo. Vamzdžiai su platinos elektrodais arba net ir su aluminio elektrodais, tiksliai su galais iš platinos, kuriuos tik ir galima įlydyti į stiklą, su smarkiai praskiestomis dujomis, vadinasi katodo vamzdžiais, arba Kruksio vamzdžiais, nes anglas *C r o o k s' a s* kaip tik atliko didelį darbą tyrinėdamas elektros išsikrovimą smarkiai praskiestose dujose. Ir į elektros išsikrovimą kaip paprasto spaudimo dujos, taip ir praskiestose dujose, buvo žiūrima kaip į jonų judėjimą, vadinasi, kaip į elektros konvekciją, nes buvo konstatuota, kad dujose jonų nėsant jos nepraleidžia elektros. Kruksas konstatavo, kad esant dideliame praskiedimo laipsniui, šviesos srovė išnyksta, tiksliai aplink anodą ir aplink katodą reiškiasi šviesos vainikai, bet nevienodos išvaizdos: vamzdis vidury tamsus, bet už tat vamzdžio stiklas reiškia puikiausią žalią arba vyšnių spalvos (pareina nuo stiklo rūšies) fluorescenciją. Jeigu tarp katodo ir stiklo galo vamzdyje padėti nepermatomą kūną, sakysime metalinį kryžių, tai ant stiklo prieš katodą susidaro šešėlis. Iš čia Kruksas padarė išvadą, kad išsikraunant elektrai smarkiai praskiestose dujose iš katodo išsiveržia tamsūs spinduliai, kurie skleidžiasi tiesiomis linijomis. Padėjus vamzdyje ant stiklinių vėželių aluminio ratukus, tie ratukai rieda. Taigi išeina, kad tie tamsūs spinduliai, kuriuos Kruksas pavadino katodo spinduliais, reiškia smarkų mechaniską veikimą. Padėjus tiems spinduliams pakeliui platinos plokštelę, ji įkaista, kinetinė spindulių energija susidavus jiems į platinos plokštelę virsta šiluma, įkaitina platiną, o sudavus jiems į stiklą, sukelia stiklo gražią fluorescenciją. Be to, Kruksio buvo konstatuota, kad tie spinduliai, kurie visuomet eina nuo katodo tiesiomis linijomis, visiškai neatsižvelgiant į tai, kurioj vietoj ir kaip padėtas anodas, atlenkiami nuo jų tiesaus kelio elektrostatinio lauko ir taip, kad tarytum, jie susideda iš neigiamai įelektrintų dalelių. Taip pat juos atlenkia magnetinis laukas ir tokia prasme, kaip magnetinis laukas atlenktų neigiamos elektros srovę. Pagaliau Kruksas, darydamas bandymus su įvairios rūšies dujomis ir su elektrodais iš įvairių metalų, konstatavo, kad visais atvejais tų katodų spindulių prigimtis yra ta pati. Taigi Kruksas manė, kad jis čia surado naują materijos būvį, kurį jis pavadino spindulių materija, arba radiacijos materija, ir tikėjosi, kad toliau sekant šitą materijos būvį galima bus išspręsti materijos problema.

Pridursime čia dar, kad sekant tų katodo spindulių elgesį išleidus juos į orą per aluminio langelį—nes tie spinduliai nepereina per stiklą, bet pereina per plonas kai kurių metalų plokšteles,—buvo konstatuota, kad jie smarkiai jonizuoja orą, ir darant tokius eksperimentus *R ö n t g e n' u i* 1894 metais su katodo spinduliais ir esant pripuolamai katodo vamzdžio apačioj medinei kasetei su jautria fotografine plokštele, buvo surasti vadinamieji *X*-spinduliai, arba Rentgeno spinduliai, kurie susidaro tose stiklo vamzdžio vietose, į kurias suduoda katodo spinduliai. Tie spinduliai išeina iš stiklo ir lengvai pereina per visą eilę kūnų, kaip medis, šikšna, žmogaus raumens, aplamai juo lengviau pereina, juo mažesnis kūnų sudrumas, nepaisant to ar tie kūnai permatomi, ar nepermatomi paprastų šviesos spin-

dulių žvilgsniu. Rentgeno spindulių reikšmė medicinoje, o dar labiau jų reikšmė mokslo srityje, šiandien visiems žinoma. Tie spinduliai veikia fotografinę plokštelę, jonizuoja orą ir dujas, bet neatlenkiami nei elektrostatinio nei magnetinio lauko.

Galutinai katodo spindulių prigimties problema buvo išspręsta 1896 metais Kembridžo universiteto didelio fiziko J u o z a p o T h o m s o n' o, kuris konstatavo tiesioginiais bandymais, kad katodo spinduliai susideda iš neigiamos elektros dalelių, kuriuose Tomsonas pripažino neigiamos elektros atomus ir pavadino jas korpuskulomis, arba elektronais. Šitie Tomsono darbai atidaro naują erą fizikoje ir todėl mes čia nors ir trumpai prie jų sustosime.

Jau mes pastebėjome, kad katodo spinduliai atlenkiami nuo savo tiesios krypties magnetinio lauko ir taip, kaip būtų atlenkiamas laidininkas su neigiamos elektros srove. Toksai atlenkimas įvyksta tik tada, kada magnetinio lauko jėgų linijos perkerta statmenai katodo spindulių kryptį. Tegu kiekviena katodo spindulių dalelė turi neigiamą elektros krovinį e ir tegu ji slenka tam tikra kryptimi greitumu v . Tada tokios dalelės judėjimas yra ekvivalentingas laidininkui, per kurį eina elektros srovė ev . Jeigu tokį laidininką statmenai perkerta magnetinis laukas, tai susidaro mechaniška jėga, kuri veikia statmenai ir laidininką ir magnetinio lauko jėgų linijas. Taigi ta jėga stengiasi pasukti laidininką aplink magnetinio lauko linijas. Šita jėga, kaip žinoma iš elektrodinamikos, yra lygi $H \cdot ev$, jeigu mes magnetinio



Elektromagnetinis laukas veikia skersai DE. R anodas ir C katodas. AB—metalinis vamzdis katodo vamzdžio vidury, kad suteiktų katodo spinduliams siauro pluošto pavidalą. DE—metalinės plokštelės elektrostatiniam laukui sudaryti.

lauko stiprumą pažymėsime raide H ir srovės stiprumą išreikšime sandauga ev . Kadangi mes čia laidininko neturime, bet turime tik neigiamai įelektrintų dalelių sroves tiesiomis linijomis, tai iš to, kas čia pasakyta, išeina, kad veikiant magnetiniam laukui skersai tų dalelių sroves, jos atsilenkia nuo tiesaus kelio ir ima suktis ratais. Jeigu katodo vamzdžio galas iš vidaus apibarstytas cinksulfidžio dalelėmis, tai tą atsilenkimą nuo tiesaus kelio galima ne tik pamatyti, bet ir išmatuoti, nes cinksulfidas šviečia ten, kur jį pasiekia katodo spinduliai, o išmatavus atsilenkimą ir imant domėn vamzdžio pavidalą, galima apskaityti rato spindulys (radijas), kuriuo slenka neigiamai įelektrinta dalelė magnetinio lauko įtakoje (žiūr. pieš.). Bet sukdamasi ratu dalelė yra įtakoje išcentrinės jėgos, kuri yra lygi $\frac{mv^2}{r}$, jeigu mes tos dalelės masę pažymėsime raide m , o rato spindulį raide r . Šita išcentrinė jėga kompensuoja įcentrinę magnetinę jėgą, nes kitaip dalelė nu-eitų nuo rato. Taigi $\frac{mv^2}{r} = H \cdot ev$. Iš čia $\frac{m}{e}v = r H$.

Antra vertus, kaip mes jau žinome, katodo spinduliai, kaip sudaryti iš neigiamai sudarytų dalelių, atlenkiami elektrostatinio lauko. Jeigu katodo spindulys eina tarp dviejų metalinių plokštelių, tai sujungus tas plokšteles su baterijos poliais arba suteikus toms plokštelėms kitu kuriuo

būdu tam tikrą potencialų skirtumą, tarp jų susidarys elektrostatinis laukas ir katodo spinduliai bus atlenkti į teigiamos plokštelės arba teigiamo elektrodo pusę, vadinasi, bus atlenkti elektrostatinio lauko linijų kryptimi. Elektrostatinio lauko stiprumą pažymėję raide X , veikianti jėga tam atlenkimui bus Xe . Galima tuo pačiu laiku daryti katodo spindulių atlenkimą magnetiniu lauku ir elektrostatiniu lauku. Jeigu elektrostatinis laukas veiks statmenai magnetiniam laukui ir tuo pačiu laiku statmenai katodo dalelių slinkimo kryptiai, tai magnetinis ir elektrostatinis atlenkimas veiks ta pačia linija. Taigi, elektrostatiniam laukui galima suteikti tokią kryptį, kad jis, veikdamas ta pačia linija, kaip ir magnetinis laukas, lenktų spindulius į priešingą pusę. Tokiu būdu atlenkus magnetiniu lauku ir stiprinant elektrostatinį lauką mes gražinsime spindulį prie jo normalios krypties, kada elektromagnetinio ir elektrostatinio laukų veikimai pasidarys lygūs ir bus tik atkreipti vienas prieš kitą. Tada mes turėsime $Hev = Xe$, iš kur $v = \frac{X}{H} \cdot \frac{e}{H}$. Taigi, pasiekus pusiausviros tarp magnetinio ir elektrostatinio laukų veikimo ir išmatavus tų laukų stiprumas H ir X , mes surasime katodo dalelių greitumą. Tasai greitis, remiantis Tomsono bandymais, svyruoja tarp 20.000 ir 30.000 kilometrų per sekundą ir, vadinasi, gali pasiekti apie 1/10 šviesos greitumo.

O suradus v iš lygties $\frac{m v^2}{r} = H e v$, mes gausime $\frac{m}{e} = \frac{r H}{v}$ — santykį tarp katodo dalelių masės ir jų elektros krovinio, kurį santykį, sekdami Faradejį, mes vadiname elektrocheminiu ekvivalentu. Iš Tomsono eksperimentų eina, kad $\frac{m}{e} = 5,65 \cdot 10^{-8}$ matuojant elektromagnetiniais vienetais. Mes žinome šitą santykį remiantis Faradejo dėsniu visiems jonams. Taip antai, vandeniliui, kuris duoda vienvalentingus jonus, tas santykis bus $\frac{H}{E} = 0,000109$ gramų vienam kulonui $= 0,000109$ gramų vienam elektromagnetiniam vienetai. Dabar kyla klausimas, ar katodo dalelių, arba korpuskulių, arba elektronų kroviny tas pats kaip ir vienvalentingų jonų, ar ne. Priimant, kad kroviny tas pats, nes nėra pagrindo laikyti jį esant kitokį, mes gausime tarp vandenilio atomo masės ir elektrono masės tokį santykį: $\frac{H}{m} = \frac{0,000109}{5,65 \cdot 10^{-8}} = 1845$. Taigi išeina, kad elektronų masė yra 1845 sykius mažesnė, kaip vandenilio atomo masė.

Kadangi Tomsonas, kaip dar ankščiau Kruksas, darė eksperimentus su įvairių įvairiausiomis dujomis ir su katodais iš įvairių metalų ir kadangi jis visais atvejais konstatavo, kad santykis $\frac{m}{e} = 5,65 \cdot 10^{-8}$, tai savo eksperimentais jis galutinai parėmė Krukso hipotezę, kad katodo dalelės, arba elektronai (neigiamos elektros atomai), yra bendra sudėtiną dalis visiems be išimties elementams. Elektronai atsiranda ne tik katodo vamzdyje einant elektros išsikrovimui per tokį vamzdį, jeigu tik vamzdis pakankamai evakuotas, bet ir kitais atvejais. Taip antai, veikiant Rentgeno spinduliams, oras ir aplamai dujos jonizuojasi ir darosi elektros laidininkais, todėl kad Rentgeno spinduliai nuskelia, taip sakant, nuo atomų elektronus, taip kad likusi atomo dalis turi teigiamą krovinį ir, vadinasi, virsta teigiamu jonu. Be to, elektronai jungiasi su neutraliomis molekulomis ir tokiu būdu sudaro sunkius neigiamus jonus. Toliau, nušviečiant metalus, o ypač cinką, kalį ir natrį ir tų metalų amalgamas vyšniavais ir ultravyšniavais spinduliais, nuo tų metalų paviršiu atsiskiria elektronai ir metalai tampa teigiamai įelektrinti. Taip pat nuo metalų paviršiaus prie augštos tempera-

elektros krovinsys toks pat kaip vienvalentingo arba vienatomio jono ir, vadinasi, priimti kaip galutiną faktą, kad elektronas yra neigiamos elektros atomas, reikėjo dar absoliučiai išmatuoti tą elektrono krovinį e , kas ir buvo atlikta vieno iš Tomsono mokinių, būtent Wilson'o. Wilsonas savo eksperimentus parėmė Aitken'o konstatuotu faktu, kad labai dažnai vandens garai gali būti smarkiai persotintame stovyje, jeigu nėra dulkių dalelių, arba jonų, kurie vaidina vaidmenį branduolių, aplink kuriuos prasideda garų kondensacija. Vilsonas adijabatinio dujų išsiplėtimu sudaro temperatūros puolimą cilindriškame inde L , kuriame randasi du elektrodai (žiūr. pieš.). Atkartodamas adijabatinį išsiplėtimą Vilsonas nuplauna visas dulkių daleles, kurios buvo cilindriškame inde su elektrodais ir pasiekia persotintą garų stovį, nes tas cilindriškas indas turi susisiekimą su kitu indu, kuriame randasi vanduo. Jeigu cilindriško indo elektrodai E iš cinko, tai, nušvietus elektrodus ultravyšniavais spinduliais, tuojau atsiranda elektronai, kurie susijungia su neutraliomis molekulomis arba ir be susijungimo sudaro branduolius, aplink kuriuos kondensuojasi vandens garai, taip kad cilindriškame inde tarp elektrodų pasirodo debesėlis. Kadangi tas debesėlis susideda iš vandens lašelių, tai tie lašeliai ir, vadinasi, visas debesėlis, veikiant svorio jėgai, slenka žemyn su greitumu einant Stokes'o formula $V = \frac{2gr^2}{9\eta}$. Čia v reiškia vandens lašelių, arba debesėlio vandens, slinkimo žemyn greitumą, g žemės svorio jėgos greitėjimą, r lašelių spindulį ir η klampumą oro arba dujų, kuriose daromas eksperimentas. Taigi, greitumą v galima išmatuoti, klampumas oro arba kitų dujų žinomas. Vadinasi, iš Stokeso formulos galima suskaičiuoti aplink elektronus arba aplink susijungusias su elektronais molekules susikondensavusių vandens lašelių spindulį r . O žinant r ir vandens sūdrumą, mes suskaičiuosime kiekvieno vandens lašelio masę $M = \frac{4}{3}\pi r^3 d$ čia d reiškia vandens sūdrumą. Visi vandens lašeliai įelektrinti neigiamai, nes jie susidarę arba ant elektronų arba ant neutralinių molekulių susijungusių su elektronais ir kiekvienas lašelis turi krovinį e . Taigi, visas debesėlis įelektrintas neigiamai. Suteikiant dabar, sakysime, viršutiniam cilindriško indo elektrodui tam tikrą plius elektros krovinį, sakysime X , mes galime pasiekti tokį dalykų stovį, kad elektrostatinė trauka tarp krovinio X ir neigiamo debesėlio krovinio kompensuos svorio jėgos veikimą ir visas debesėlis pakibs ore tarp dviejų elektrodų, kaip Mahometo karstas. Tada mes turėsime $X \cdot e = Mg$ ir $e = \frac{Mg}{X}$. —Xe čia reiškia elektrostatinę, jėgą, veikiančią kiekvieną lašelį su kroviniu e , o Mg svorio jėgą, veikiančią lašelį. Atlikęs eilę tokių eksperimentų Vilsonas rado, kad elektrono krovinsys $e = 4,77 \cdot 10^{-10}$ elektrostatiinių vienetų, arba $e = \frac{4,77 \cdot 10^{-10}}{3,10^{10}} = 1,59 \cdot 10^{-20}$ elektromagnetinių vienetų.

Vienas kūbinis centimetras vandenilio sveria $0,00009 = 9 \cdot 10^{-5}$ gramų prie 0° temperatūros ir normalinio spaudimo. Iš kinetinės dujų teorijos mes žinome, kad viename kūbiniame vandenilio centimetre nulinio temperatūroj ir vienoj atmosferoj spaudimo randasi $2,7 \cdot 10^{19}$ molekulių arba $5,4 \cdot 10^{19}$ vandenilio atomų. Vadinasi, masė vieno atomo vandenilio bus $\frac{9 \cdot 10^{-5}}{5,4 \cdot 10^{19}}$. Einant Faradejo dėsnium, vienam vandenilio gramui ant katodo iškrauti reikia 9654 elektromagnetinių vienetų, kitaip sakant, tai yra vieno gramatomo vandenilio arba vieno vandenilio jono krovinsys. Iš proporcijos

X: $9654 = \frac{9 \cdot 10^{-5}}{5,4 \cdot 10^{19}}$: 1 mes surasime vandenilio vieno atomo krovinį, kada jis būna jonų stovyje kaip $X = \frac{9654 \cdot 9 \cdot 10^{-5}}{5,4 \cdot 10^{19}} = 1,6 \cdot 10^{-20}$ elektromagnetinių vietų. Taigi, išeina tas pats elektros kiekis kaip ir vieno elektrono kroviny. Vadinasi, elektrono kroviny yra tas pats, kaip vienatominio jono ir yra mažiausias elektros kroviny, kuris jungiasi su atomais. Todel elektronas neabejotinai yra neigiamos elektros atomas ir tuo pačiu laiku yra įvairių chemijos elementų atomų bendra sudėtina dalis. Iš santykio $\frac{m}{e} = 5,65 \cdot 10^{-8}$ eina $m = 5,65 \cdot 10^{-8} e = 5,65 \cdot 10^{-8} \cdot 1,59 \cdot 10^{-21} = 9 \cdot 10^{-28}$ gramų kaipo elektrono masė.

Kadangi iš Faradejo ir Lenco nustatytų elektromagnetinės indukcijos dėsnių eina, kad elektromagnetiniai fenomenai karakterizuojausi savotiška inercija, kuri vadinasi saviindukcija, ir kadangi slenkantis elektronas yra ne kas kita, kaip neigiamos elektros srovė, tai, kaip tik buvo surastas elektronas, fizikams teko išspręsti problemą, ar nėra visa elektrono masė elektromagnetinės prigimties arba elektromagnetinės kilmės, nes, išsprendus šią klausimą, galima žiūrėti į elektroną tikrai kaip į tam tikrą elektros krovinį. Mes čia neatkartosime viso komplikuoto matematiško analizo, kuriuo prieita prie išvados, kad elektronas yra tik elektros kroviny, bet paremsime šią išvadą tokiais protavimais. Jeigu elektronas slenka greitumu v , tai medijume aplink jį susidaro magnetinis laukas, kaip toksai laukas susidaro apie laidininką, per kurį eina srovė i (slenkant elektronui greitumu v , ta srovė i bus ev). Bet kurioj medijumo vietoj r atstume nuo elektrono magnetinio lauko stiprumas bus $H = \frac{ev}{r^2} \sin \varphi$. Čia φ reiškia kampą, kurį sudaro su elektrono orbita linija, jungianti elektroną su ta vieta, kuriai nustatomas magnetinio lauko stiprumas. Antra vertus, magnetinio tūrio vieneto energija yra $\frac{H^2}{8\pi}$. Taigi, tūrio elemento $d u$ energija bus:

$$\frac{H^2}{8\pi} d u = \left(\frac{ev}{r^2} \sin \varphi \right)^2 \frac{d u}{8\pi} = \frac{e^2 v^2}{8\pi r^4} \sin^2 \varphi d u.$$

O visą magnetinio lauko energiją mes gausime integruodami šią reiškinį ribose nuo elektrono paviršiaus arba nuo laidininko paviršiaus, per kurį eina srovė ligi begalybės. Taigi, visa energija lygi $\sum \frac{e^2 v^2}{8\pi r^4} \sin^2 \varphi d u = \frac{1}{3} \frac{e^2 v^2}{a}$.

Čia a reiškia elektrono, arba įelektrintos slenkančios dalelės spindulį. Jei gu elektronas turi paprastą masę m , tai slenkant jam greitumu v , jo kinetinė energija bus $\frac{1}{2} m v^2$. Prie šitos energijos prisideda čionai dar elektromagnetinė energija lygi $\frac{1}{3} \frac{e^2 v^2}{a}$. Taigi, slenkant masės m dalelei greitumu v ir turint jai elektros krovinį e , visa energija bus

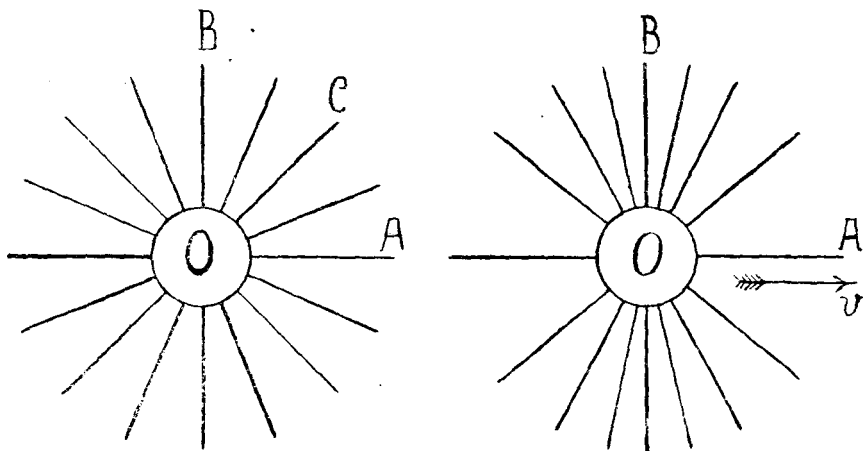
$$\frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{3} \frac{e^2 v^2}{a} = \frac{1}{2} \left(m + \frac{2}{3} \frac{e^2}{a} \right) v^2.$$

Iš šitos formulės išeina, kad slenkant įelektrintiems kūnams prie jų paprastos masės prisideda dar „extra masė“ elektromagnetinės kilmės. Šitos masės buveinė yra medijumas, kuriame slenka įelektrinta dalelė ir ta masė veržiasi, taip sakant, į dalelę iš medijumo kaip tik ta dalelė ima judėti. Šitam elektromagnetiniam fenomenui mes randame pilną analogiją hidrodinamikoje. Jeigu koks kūnas slenka klampiame skysčiuje, tai jis pagauna ir neša su savimi didesnę arba mažesnę to skysčio kiekį. Vadinasi, to kūno

masė slinkdama skysčiuje bus didesnė ir jo inercija bus didesnė. Pavyzdžiui, rutulys, kuris slenka vandeny, pagauna ir neša su savimi pusę savo tūrio vandens, o cilindris, kuris slenka vandeny pastatytas stačiai, neša su savimi visą savo vandens tūrį. O jeigu cilindris slenka vandeny tokioj padėty, kad jo ašis sutampa su judėjimo linkme, tai jis nepagriebia jokio vandens. Vienu žodžiu, jeigu kūno masė M ir jis slinkdamas skysčiuje pagauna su savimi skysčio masę M_1 , tai energija, reikalinga išjudinti kūnui tokiose sąlygose, bus $\frac{1}{2} (M + M_1) v^2$.

Šita energija glūdi medijume ir, tik ėmus kūnui judėti, ji veržiasi iš medijumo į kūną.

Atsiminkime Faradejo elektrostatinio lauko vaizdą, kurį jis susidarė, kad išaiškintų traukos ir atsparos jėgas, veikiančias tarp elektros krovinių. Anot Faradejo, nuo kiekvieno teigiamai įelektrinto kūno išeina jėgų linijos, kurios baigiasi ant kito kūno. Ir ten, kur jos baigiasi, mes turime neigiamos elektros krovinį. Tos jėgų linijos panašios į elastingus siūlus ir veikia kaip elastingi ryšiai tarp dviejų kūnų. Jos stengiasi susitraukti ir todėl traukia



vieną kūną prie kito. Be to, tarp gretimų jėgų linijų veikia atsparos jėgos ir todėl, kada mes turime du vienodo ženklo elektrostatinis laukus, tai dėl atsparos jėgų veikimo tarp jėgų linijų du kūnai įelektrinti to paties ženklo elektra stumiasi vienas nuo kito. Šita Faradejo elektrostatinio lauko koncepcija pasirodė labai tikusi ir pilnai atitinkanti visam tam, kas mums žinoma apie elektromagnetinių jėgų veikimą. Taigi, einant šita koncepcija, ir kiekvienas elektronas turi savo jėgų lauką. Nuo jo paviršio į visas puses spindulių pavidalu skleidžiasi jėgų linijos, arba, kaip dažnai kalbama, jėgų vamzdeliai, laikant jėgų vamzdeliu tokį jėgų linijų kiekį, kuris atstume vieno centimetro nuo centro reiškia vienos dinos jėgą skaitant ploto vienetui. Kada toksai elektronas, nelyginant kaip ežys, su savo jėgų linijomis spinduliais slenka medijume, tai tie jėgų vamzdziai, kurie orientuoti išilgai slinkimo, nelyginant kaip išilgai slenkąs cilindris, taip sakant, neužkliūdo medijumo, kuriame verčiasi elektromagnetiniai procesai, bet kaip slenkąs vandeny gulsčioje padėtyje cilindris randasi nepastovios pusiausvyros padėtyje ir, einant Hamiltono minimumo veikimo principu, stengiasi atsistoti statmenai judėjimo kryptiai ir tokiu būdu pasiekti pastovesnės pusiausvyros padėtį,—taip ir elektrono jėgų vamzdziai stengiasi nusistatyti statmenai

judėjimo kryptčiai ir, kaip tokios pastangos išdava, susitelkia, arba susigrūda, elektrono pusiaujo plotmėje (žiūr. prieš). Bet atsparos jėgos, veikiančios tarp jėgų vamzdelių, priešinasi tai tendencijai susigrūsti ir todėl, kada greitumas yra vidutinis, tokio jėgų vamzdelių susigrūdimo gangreit nepastebėsime. Bet kada tas greitumas artinasi prie šviesos greitumo, tada darosi vis aiškesnis ir aiškesnis šitų jėgų vamzdelių susigrūdimas ir susitelkimas elektrono pusiaujo plotmėje. Antra vertus, kaip jau ankščiau išdėstyta, slenkąs gulsčioje padėtyje cilinderis nepagriebia visiškai medijumo. Taip pat ir elektrono jėgų vamzdeliai, kurie orijentuoti išilgai judėjimo kryptties, taip sakant, neužkliudo medijumo, kuriame vyksta elektromagnetiniai procesai—sakysime, stačiai neužkliudo eterio. Bet juo smarkiau bus susigrūdę jėgų vamzdeliai pusiaujo plotmėje, juo daugiau, juo smarkiau jie veiks medijumą ir atbulai. Taigi, didėjant elektrono greiui, didės jo elektromagnetinė masė ir atbulai. Vienu žodžiu išeina, kad elektrono elektromagnetinė masė pareina nuo jo greitumo, jeigu tik tas greitumas didelis ir artinasi prie šviesos greitumo. Įvairūs fizikai suskaičiavo santykį tarp elektromagnetinių įelektrintos dalelės masių mažame ir dideliame greiui. Tie suskaičiavimai tiek maža skiriasi vienas nuo kito, kad mes čia šitam santykiui pasinaudosime formule, nustatyta didelio Olandų fiziko *Lorentz*:
$$z'o: \frac{m_v}{m_0} = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}.$$
 Čia m_0 reiškia elektromagnetinę masę, sulyginti mažame greiui m_v — elektromagnetinę masę dideliame greiui ir $\beta = \frac{v}{c} =$ įelektrintos dalelės ir šviesos greiui santykis.

Šita grynai teorinė fizikų išvada buvo patikrinta Heidelbergo fiziko *Kaufmann*'o bandymais.

Kaufmanas eksperimentavo su vadinamomis β -dalelėmis, kurias išmeta su dideliu smarkumu radijus ir kiti radijoaktingi kūnai ir kurios, kaip jau mes matėme, nieko nesiskiria nuo katodo dalelių, arba elektronų, išėjus tik greiui, kuris β -dalelėms siekia nuo $\frac{1}{3}$ dalies ligi 90% ir daugiau šviesos greiui. Kaufmanui reikėjo turėti tokio didelio greiui neigiamas daleles, nes, kaip jau mes pastebėjome, esant, sulyginti, nedideliems greiuiams, kaip sakysime $\frac{1}{10}$ dalis šviesos greiui, greiui įtaka elektromagnetinei masei yra silpna. Aparatas, kuriuo naudojosi Kaufmanas, visais žvilgsniais panašus į tą aparatą, kurio pagalba daromas atlenkimas katodo spindulių magnetiniu ir elektrostatiu laukais, santykiui $\frac{m}{m_0}$ nustatyti ir elektronų greiui v surasti. Taigi, ir čia Kaufmanas lenkia β -daleles, turinčias didelius greiuius magnetiniu ir elektrostatiu laukais, tik orijentuotais taip, kad abiejų laukų linijos ejo lygiagrečiai. Vadinasi, magnetinis ir elektrostatinis laukas veikia statmenai vienas kitam ir, kaip tokio veikimo išdava, β -dalelės slenka parabolomis vieton tiesių linijų. Remiantis šitomis parabolomis, kurios buvo nufotografuotos dėkui tam, kad tokios smarkios ir greitos dalelės, kaip β -dalelės, jonizuoja dujų likučius ir nušviečia pačios savo taką, taip kad net akimis galima matyti jų parabolą. Bet ir ten, kur tos parabolos silpnai nušviestos, jos vis delto pakankamai, nušviestos, kad paveiktų fotografijos plokštelę. Vadinasi, galima jas nufotografuoti ir studijuoti jų fotografijas. Čia mes duodame lentelę, kurioje parodyti Kaufmano eksperimentų vaisiai.

Elektrono greitis v			β	$\frac{m_v}{m_0}$
3×10^8	cm.	per sekundą	0,01	1,000
9×10^8	"	"	0,30	1,048
$1,8 \times 10^9$	"	"	0,60	1,250
$2,4 \times 10^9$	"	"	0,80	1,667
$2,85 \times 10^9$	"	"	0,95	3,203
$2,94 \times 10^9$	"	"	0,98	5,025

Iš šitos lentelės mes aiškiai matome, kad artinantis elektrono grei-
mui prie šviesos greičio, jo elektromagnetinė masė darosi 5 sykius di-
desnė kaip prie paprastų elektrono greičių, sakysime, katodo vamzdyje.
Be to, kiekvienam elektrono greičiui reikia priskirti tam tikrą ir tik vieną
masę, taip kad atrodo, jog elektrono elektromagnetinė masė yra tolydinė
jo greičio funkcija. Šitie Kaufmano eksperimentai buvo atkurti ir kitų
fizikų ir visais žvilgsniais patvirtinti. Remiantis šiais eksperimentais mes
galime padaryti pilnai pamatuotą išvadą, kad visa elektrono masė yra elek-
triškos kilmės ir visų pirma pareina nuo jo greičio. Iš Lorencio formulos
 $\frac{m_v}{m_0} = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$ eina, kad pasiekus elektronui šviesos greitumą jo masė pasi-

darytų begalinę, nes $m_v = m_0 (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{0} = \infty$. Konkrečiai tai

reiškia, kad nėra tokios jėgos, nors ir didžiausios, kurios pagalba galima
būtų suteikti medžiagai, turinčiai savyje elektronus, šviesos greitumą. Vie-
nu žodžiu tasai greičius yra didžiausias fizikos greičius. Svarbiausias
priprastos mums materijos požymis, inercija, ligi paskutinių laikų buvo pa-
slaptas dalykas. Šiandien mes pradedame įspėti, kad toji inercija, apla-
mai, yra ne kas kita, kaip elektromagnetinė inercija.

Priėmus, kad visa elektrono masė yra išimtinai elektriškos kilmės ir
pareina nuo jo greičio, mes galime nustatyti elektrono didumą, galime
apskaičiuoti jo radiją (spindulį) ir tokiu būdu sudaryti visiškai aiškų elektro-
no vaizdą. Mes jau žinome, kad elektrono masė $m = 9.10^{-28}$ gramų. Antra
vertus, reikšins jo elektriškos masės $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a}$ kur $e = 1,59.10^{-20}$ elektro-

magnetinių vienetų. Taigi $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a} = 9.10^{-28}$ arba elektrono radijas

$$a = \frac{2}{3} \frac{e^2}{9.10^{-28}} = \frac{2}{3} \frac{(1,59.10^{-20})^2}{9.10^{-28}} = 1,87.10^{-13} \text{ cm.}$$

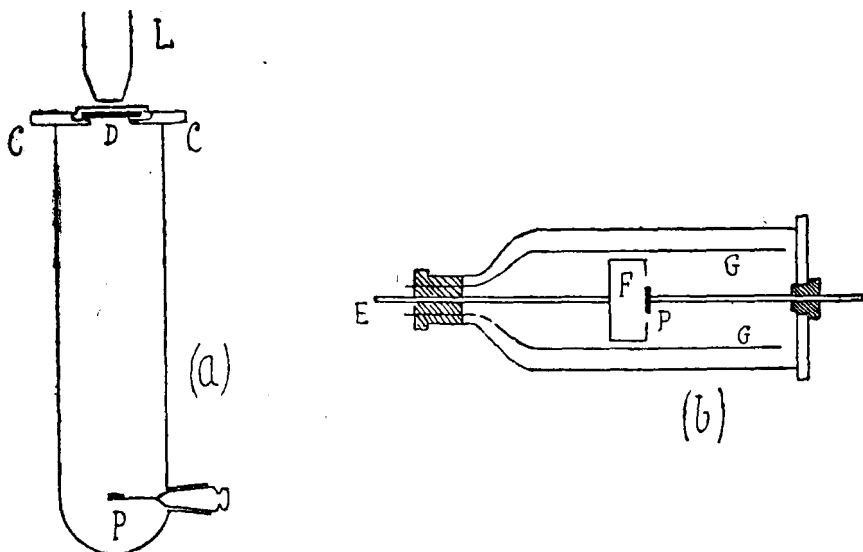
Iš kinetinės dujų teorijos eina, kad atomo radijas yra apie 10^{-8} cm. Taigi,
elektrono radijas yra apie 100.000 sykių mažesnis kaip atomo radijas ir,
vadinasi, elektrono užimtas tūris yra daug mažesnis sulyginant su atomo
tūriu, kaip, sakysime, žemės tūris sulyginti su visu saulės sistemos tūriu.
Kad gautume labiau konkretų vaizdą, galime sulyginti elektroną su žirniu,
o atomą su švento Petro katedra Romoje.

§ 3. Teigiamos elektros atomo medžiojimas. α -dalelių elektros kroviny. Rutherford'o ir Rege-nerio bandymai. Elementų transformacija: helio gavimas iš rądijaus emanacijos. Kelvino atomo modelis. Moseley'o dėsni. Rutherford'o bandymai α -dalelių išsklaidymo. Moseley'o dėsni patvirtinimas. Vandeniio branduolio elektromagnetinė masė ir radijas. Protonas. Vandeniio atomas.

Priityrimas mums rodo, kad elektra yra dvejopos rūšies—teigiama ir neigiama—ir kad visuomet, kur apsirėiškia tam tikras kiekis teigiamos elektros, pasirodo toksai pat kiekis ir neigiamos elektros. Kūnas elektros žvilgsniu bus neitralus, kada jame randasi vienodi kiekiai teigiamos ir neigiamos elektros. Jeigu elektronas, neigiamos elektros atomas, yra bendra sudėtina dalis visokios rūšies atomų, tai atomuose reikia ieškoti ir kitos sudėtinios dalies—teigiamos elektros ir tokiu pačiu kiekiu, kuriuo įeina į neitralaus atomo sudėtį neigiama elektra elektronų pavidalu. Be to, jeigu mes konstatavome atominę struktūrą neigiamai elektrai, tai nėra jokio pagrindo manyti, kad teigiamos elektros struktūra ne atominė, nes, manant taip, reikia įrodyti, kad ta struktūra neatominė, o tai yra daug sunkiau, kaip įrodyti, kad ta struktūra atominė. Taigi, paaiškėjus elektrono vaizdui, fizikų buvo daryta pastangų surasti teigiamos elektros atomą ir nustatyti jo elektros krovinį. Reikia pasakyti, kad tas darbas buvo daug sunkesnis, kaip elektrono medžiojimas, bet vis dėlto pastaraisiais laikais pasisekė pagauti šitą teigiamos elektros vienetą. Šitoje srityje didžiausi nuopelnai priklauso taip pat Kembridžo universiteto fizikams ir ypač dviem iš jų: Juozapui Tomsonui ir Ernestui Rutherfordui.

Katodo vamzdyje mes turime darbo ne tik su katodo spinduliais, su elektronais, kurie sklaidžiasi tiesiomis linijomis nuo katodo neatsižvelgiant į anodo padėtį, bet tame pačiame vamzdyje mes turime darbo ir su kitos rūšies spinduliais, kurie išeina iš anodo ir susideda iš teigiamai įelektrintų dalelių, nes jie atlenkiami elektromagnetinio lauko priešinga prasme, kaip katodo dalelės, arba elektronai. Taip pat priešinga prasme jie atlenkiami ir elektrostatinio lauko. Tas anodo daleles, arba anodo spindulius, galima sekti katodo vamzdžiuose, jeigu anodą patalpinti ties katodu, o katodą ap rūpinti mažomis skylėlėmis. Tada tie anodo spinduliai, perėję pro skylėles, sklaidžiasi tiesių linijų pavidalu ir, pasiekę priešingą vamzdžio galą sukelia jo stiklo fluorescenciją. Be to, takas tų dalelių labai dažnai būna nušviestas, taip kad sekti jų eigą galima net ir paprastomis akimis. Tokiais atvejais anodo spinduliai vadinami kanaliniiais spinduliais, nes skylės katode prilyginamos kanalams. Mes jau sakėme, kad ir šitie spinduliai atlenkiami ir elektrostatinio ir elektromagnetinio laukų, tiktai priešingai elektronams. Bet reikia pasakyti, kad jie atlenkiami daug silpniau; viena, dėl to, kad tų dalelių masė yra daug didesnė kaip elektronų masė ir, antra, dėl to, kad jų greitumas yra žymiai mažesnis kaip elektronų greitumas. Bet jų energija yra vis dėlto žymiai didesnė kaip elektronų energija dėl jų didesnio masingumo. Bet šiaip ar taip atlenkimo eksperimentais Tomsonas ir kiti nustatė toms teigiamoms dalelėms elektrocheminį ekvivalentą, vadinasi santykį $\frac{m}{e}$ ir konstatavo, kad tas santykis teigiamoms dalelėms yra toks pat, kaip jonams ir, vadinasi, kad tų dalelių masė yra tokia pat kaip jonų masė. Vandeniio jonas turi mažiausią masę. Nesurasta nė vienos teigiamos dalelės su mažesne mase kaip vandeniio atomo masė, nes jonų masės yra to-

kios pat, kaip atomų masės. Be to, konstatuota, kad teigiamos dalelės turi krovinius didumo nuo e ligi $8e$, bet niekuomet daugiau, taip pat kaip ir teigiami jonai, kurie susidaro atskylant nuo atomo arba atomų grupės radikalo vienam, dviem, trims ir t. t. aštuoniems elektronams, taip kad pasilieka atomas arba radikalai su vienu teigiamu krovinium, dviem ir t. t. su aštuoniais teigiamais kroviniais. Tarpe tų teigiamų dalelių eksperimento srityje turėjo ypatingos reikšmės vadinamos α -dalelės, išmetamos, kaip mes jau žinome, radijaus su didele energija ir įelektrintos teigiamai. Tų dalelių masė yra tos pačios kategorijos kaip ir teigiamų jonų masė ir apie 4 sykius didesnė kaip vandenilio jonų masė. Sekant šitas α -daleles daug vargo ir triūso padėjo jau minėtas Ernestas Ruterfordas. Pažymėsime α -dalelių teigiamą krovinį raide E . Jeigu mes turime didelį tų dalelių skaičių N , tai visas krovinys bus $N \cdot E$. Tasai krovinys bus pakankamai didelis, kad išmatuoti jį elektrometru. Ruterfordas leido tas daleles nuo radijaus paviršiaus, eliminavęs β -daleles ir γ -spindulius nuo to paties paviršiaus į tam tikrą



kamerą su oru. Kiekviena α -dalelė, įeidama į kamerą, jonizuoja orą, nes ji turi didelę kinetinę energiją ir, suduodama į orą arba dujų molekules, skaido jas, atskeldama nuo jų elektronus ir sudarydama kaip išdavą teigiamus jonus. Jonizuotas oras praleidžia elektrą ir todėl kiekviena α -dalelė, įėjusi į kamerą, sudaro elektrometro adatos judėjimą, taip kad iš vienos pusės sekant adatos krūptelėjimus galima skaityti α -daleles, o iš kitos pusės iš elektrometro adatos atsilenkimo spręsti apie visų tų dalelių elektros krovinį.

Panašiais eksperimentais užsiėmė tuo pačiu laiku ir Regeneris, kuris vartojo du aparatus: vieną α -dalelėms skaityti, o kitą elektros kiekiui tam tikro tų dalelių skaičiaus išmatuoti (žiūr. pieš.) Pirmasis aparatas, tai buvo stiklo vamzdis, į kurio vieną galą buvo įdyta mažutė lėkštelė su radijaus arba polonio trupinėliu, o kitas vamzdžio galas buvo uždarytas hermetiškai dangčiu su skylė, o šita skylė buvo uždaryta plona stiklo plokštele, kurios į polonį arba radijų atkreiptoji pusė buvo apibarstyta juodbėrio deimanto dalelėmis arba apklijuota ploniausiu juodbėrio deimanto sluog-

sniu. Iš vamzdžio buvo evakuotas oras kiek tik galima labiau, kad α -dalelės neturėtų nereikalingų susidūrimų su oro arba dujų molekulėmis ir nenustotų savo energijos. Taigi, kiekviena α -dalelė, suduodama į juodbėrio deimanto ekraną, duoda žybtelėjimą (scintiliaciją) ir tie žybtelėjimai skaitomi, žiūrint pro mikroskopą, kurio objektyvas atkreiptas į stiklo plokštelę vamzdžio viršuje. Tegu atokumas nuo polonio arba radijaus lėkštelės ligi stiklo su deimanto plokštele bus R , tegu A bus plotas skylės uždarytos stiklo plokštele ir tegu per t sekundų suskaičyta n žybtelėjimų, vadinasi n α -dalelių sudavė deimanto sluogsni. Tada α -dalelių skaičius, išmestas per vieną sekundą nuo hemisferos, aprašytos apie polonio arba radijaus viršutinį paviršį bus $N = \frac{2\pi R^2}{A} \cdot \frac{n}{t}$. Visa eilė eksperimentų davė vidutiniškai skaičių $N = 3,935 \cdot 10^5$.

Kita eile eksperimentų buvo nustatytas elektros krovinys šitų dalelių, vartojant Faradejo cilinderį, įdėtą į stiklo indą ir laidininku sujungtą su precizijos elektrometru. Stiklo cilinderis evakuojamas kiek tik galima smarkiau, kad eliminuoti α -dalelių energijos nuostolį, susiduriant joms su oro arba kitų dujų molekulėmis. α -dalelės šauna mažute polonio plokštele ties pat Faradejo cilindrio skyje. α -dalelės, šaudamos nuo polonio plokštelės ir susiduodamos į Faradejo cilinderį, užtaiso šitą cilinderį teigiama elektra ir kelia jo potencialą. Del šita tarp polonio plokštelės ir Faradejo cilindrio sienos susidaro teigiamos elektros srovė, kuria galima suskaičiuoti išmatavus elektrometru Faradejo cilindrio potencialą V , pasiektą per tam tikrą laiką, sakysime t sekundų. Jeigu Faradejo cilindrio talpumas bus C , tai elektros kiekis, kuris pereis nuo polonio plokštelės į Faradejo cilindrio sienas, bus $C \cdot V$ ir, vadinasi, teigiamos elektros srovė bus $\frac{C \cdot V}{t}$ (elektros kiekis, kuris pereina per visą skerspjūvį per 1 sekundą). Pavartotas šituose eksperimentuose elektrometras buvo mažo talpumo ir todėl labai jautrus, jautresnis už jautriausius žinomus mums galvanometrus, ir jo pagalba buvo nustatyta, kad $\frac{C \cdot V}{t} = 0,000377$ elektrostatiinių vienetų. Tai reiškia elektros kiekį surištą su augščiaiu nustatytu α -dalelių skaičiumi $3,935 \cdot 10^5$, kurias išmeta polonio plokštelė per vieną sek. Taigi, vienos α -dalelės elektros krovinys išeina $\frac{0,000377}{3,935 \cdot 10^5} = 9,58 \cdot 10^{-10}$ elektrostatiinių vienetų. Tai yra Regenerio skaičius. Ruterfordas gavo skaičių $9,30 \cdot 10^{-10}$. Paėmę aritmetinį vidurį iš tų abiejų skaičių, turėsime $9,44 \cdot 10^{-10}$ elektrostatiinių vienetų arba $\frac{9,44 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 10^{10}} = 3,14 \cdot 10^{-20}$ elektromagnetinių vienetų. Tai reiškia du syk daugiau kaip elektrono krovinys, kuris, kaip jau matėme, yra lygus $1,57 \cdot 10^{-20}$. Vadinasi, mažiausis teigiamas krovinys, kuris jungiasi su tokiais vienvalentingais atomais, kaip, sakysime, vandenilio atomas sudarant vienvalentingus jonus, yra tokio pat didumo kaip ir neigiamos elektros atomas, nes α -dalelė gali būti prilyginta divalentingiems teigiamiems jonams. Tai eina iš santykio $\frac{m}{e} = 1,97 \cdot 10^{-4}$, arba apskritai $= 2 \cdot 10^{-4}$, kuris santykis α -dalelėms nustatytas Ruterfordo ir kitų magnetinio bei elektrostatiinio atlenkimo eksperimentais. O vienvalentingiems jonams, kaip sakysime vandenilis, tasai santykis $\frac{m}{e} = 10^{-4}$, kaip mes žinome iš Faradejo elektrolizės dėsnių. Iš čia eina, kad elektrocheminiai ir, vadinasi, cheminiai ekvivalentai α -dalelių ir vandenilio santykiuoja kaip 1,97: 1. Kadangi α -dalelės yra divalentingi jonai, tai α -dalelių atominis svoris bus 3,94. Dar anksčiau V i l i m a s R a m s a y,

kuris atrado helį 1896 metais, nustatė jam atominį svorį 3,96, išeidamas iš dviejų lyginamųjų šilimų santykio $\frac{C_p}{C_v}$, kuris jo buvo nustatytas heliui, matuojant jame garso bangų greitumą, ir buvo rastas lygus 1,67. Iš čia eina, kad helis susideda iš vienantominių molekulių ir kad jo atominis svoris yra lygus 3,96. Žinant, kad α -dalelių atominis svoris 3,94, vadinasi toks pat kaip helio, Ramsay pirmutinis atspėjo, kad α dalelės yra ne kas kita, kaip helio jonai, kitaip sakant, atspėjo, kad vadinamoji radijaus emanacija, pirmas produktas radijaus atomo skilimo, susidedanti iš α -dalelių, turi, vykstant transformacijai, toliau duotį helį. Tiesioginio eksperimento keliu Ramsay parodė, kad iš tikrųjų ilgainiui iš emanacijos darosi helis, kurio autentiškumas buvo parvirtintas jo žinomu spektru (karakteringa geltona linija netoli nuo natrio D-linijos). Ramsay'o eksperimentą vėliau atkartojė Ruterfordas ir kiti ir buvo prieita prie tų pačių vaisių. Kadangi tai buvo eksperimentai, kuriais pirmą sykį pasisėkė įrodyti elementų transformaciją—kalbamuoju atveju radijaus atomo skykimą, išmetant emanaciją, arba α -daleles, kurios ilgainiui, nustodamos savo krovinių, virsta paprastais helio atomais—tai trumpai aprašysime sulyginti paprastą aparatą, kuriuo sekama tokia transformacija. Tai yra cilindriškas stiklinis vamzdis, į kurio vieną galą įlydyti du platinos elektrodai trumpų vielų pavidalu, o į kitą galą įlydytas kitas stiklinis vamzdis siauresnis ir kiek trumpesnis, kaip išorinis vamzdis. Iš tarpo tarp abiejų vamzdžių oras evakuotas. Įleidus į vidurinį vamzdį helį ir darant elektros iškrovimą per platinos elektrodus, išoriniame didesniame vamzdyje charakteringų helio spektro linijų nepastebima sekant šią elektros iškrovimą per spektroskopą. Bet įleidus į vidurinį vamzdį ne helio, o aktingos radijaus emanacijos, kuri laiką iškraunant elektrą per elektrodus išoriniame vamzdyje, spektroskope pasirodo charakteringos helio linijos iš pradžios silpnos, bet ilgainiui tos linijos darosi vis šviesesnės ir šviesesnės. Dalykas čia tas, kad radijaus emanacija susideda iš α -dalelių turinčių, kaip mes jau žinome, didelių greitumus ir todėl turinčių didelę kinetinę energiją. Taigi, tokios dalelės prasiskverbia per plonus sluogsnius įvairios medžiagos: stiklo, aukso ir kitų metalų, tuo tarpu kaip helio atomams tokie ploni sluogsniai stiklo arba metalų nepereinami. Todėl suprantama, kad įleidus į vidurinį vamzdį helio, jo atomai per plonas sienelės vidurinio vamzdžio neprasimuš ir tarpe tarp vidurinio ir išorinio vamzdžio nebus helio ir todėl spektroskope nebus jo spektro. O jeigu į vidurinį vamzdį įleista radijaus emanacijos, tai α -dalelės su savo didele energija prasiimuš per vidurinio vamzdžio stiklo sienelės į tarpą tarp abiejų vamzdžių, pamažu dalinai nustos savo elektros krovinių, ir iškraunant per jas elektrą mes pastebėsime spektroskope charakteringas helio linijas. Taigi šiandien yra neabejotinas faktas, kad α -dalelės yra ne kas kita, kaip įelektrinti helio atomai ir kad iš jų ilgainiui darosi žinomos jau mums nuo Ramsay'o laikų visiškai neaktingos helio dujos. Tasai eksperimentas svarbus ir tuomi, kad jis išmušė pagrindą elementų tvarumo teorijai, einant kuria gauti iš vieno elemento kitą elementą negalimas dalykas.

Paaiškėjus elektrono prigimčiai ir konstatavus, kad visa elektrono masė yra elektriškos kilmės ir kad teigiamos elektros pagrindinis vienetas, arba kroviny, yra toks pat, kaip ir elektrono kroviny, buvo spėjama, kad įvairių rūšių atomai sudaryti iš teigiamos ir neigiamos elektros ir, būtent, iš to paties skaičiaus teigiamų ir neigiamų krovinių, nes, paprastai, atomai neutralūs ir tik tai kaip jonai turi perteklių teigiamos arba neigiamos elektros. Mes jau žinome, kad elektrono masė yra 1845 sykius lengvesnė kaip

lengviausio jono, būtent, vandenilio jono masė. Iš pradžios buvo mėginama išplėtoti atomo struktūrą išeinant iš to, kad 1845 elektronai sudaro vandenilio atomą. Bet ta mintis greitai buvo atmesta, nes ji smarkiai komplikavo atomo struktūros problemą. Sunku buvo taip pat duoti tokį vaizdą sistemos teigiamų ir neigiamų dalelių, kad toji sistema būtų pusiausviroje. Pirmutinis lordas Kelvinas paskelbė hipotezę, einant kuria atomo teigiama elektra, arba teigiamas branduolys, yra daug sykių didesnis kaip elektronai ir užima visą atomo tūrį; o elektronai įterpti į šitą tūrį kaip razinkos į tešlą. Tokia sistema elektriškai bus pusiausviroje. Bet lordo Kelvino atomo modelis prieštarauja tam Ruterfordo nustatytam faktui, kad α -dalelių spiečius, paleistas, sakysime, į ploną aukso plokštelę, pereina per tą plokštelę neatsilenkiant daugumai tų α -dalelių nuo savo pirminės krypties. Tai būtų visiškai negalima, jeigu teigiami atomo branduoliai užimtų visą atomo tūrį, nes tada dauguma α -dalelių susidurtų su aukso atomų branduoliais ir atsilenktų nuo savo pirminės judėjimo krypties. Todel Ruterfordas jau žymiai vėliau, būtent, 1916 metais paskelbė hipotezę, kad teigiamas atomo branduolys užima tūrį daug mažesnį kaip elektrono tūris ir, vadinas, daug daug mažesnį kaip visas atomo tūris, taip kad atomumai tarp atomo branduolio ir jo elektronų yra dar daug didesni sulyginti su jų užimtais tūriais, arba su jų diametrais, kaip atomumai tarp saulės ir jos planetų, sulyginti su jų diametrais. Priėmus Ruterfordo hipotezę lengva suprasti, kad α -dalelių spiečius pereina per įvairios medžiagos plokšteles daugiausia neužkliūdamas už tos medžiagos atomų. Taip pat suprantama, kad užimant teigiamam branduoliui tik labai mažą viso atomo tūrį ir tūrį žymiai mažesnį kaip elektrono tūris, to branduolio masė turi būti žymiai didesnė kaip elektrono masė. Bet už tat nelengva suprasti, kaip tokia sistema elektriškai gali būti pusiausviroje.

Reikia pasakyti, kad atomo teigiamo branduolio prigimčiai išaiškinti ypatingai prisidėjo X-spindulių spektrų tyrinėjimai, einant tiems spinduliams per įvairių kristalų plonas plokšteles. Atradus X-spindulius ilgą laiką nebuvo jokios galimybės surišti juos su kitais matomais ir nematomais spinduliais, nes tie spinduliai elgėsi visiškai savotiškai: jų negalima atmušti, atlenkti, sukcentruoti ir paprastomis sąlygomis jie nereiškia difrakcijos fenomenų. Vokietis Laue pamėgino gauti Rentgeno spindulių difrakciją ir jų spektrus einant jiems per kristalų plokšteles. Jis manė, kad labai maži tarpai tarp atomų ir molekulių kristaluose tiek maža skiriasi nuo X-spindulių bangų ilgio, kad tie molekuliniai ir atominiai tarpai suvaidino smulkaus gardelio vaidmenį X-spindulių atžvilgiu. Laue spėjimas pilnai pasitvirtino ir jam pasisekė gauti difrakcijos spektrus X-spindulių ir išmatuoti tų spindulių bangų ilgį, kuris pasirodė labai mažas, daug mažesnis kaip ultravyšniavų spindulių bangų ilgis. Eidamas Laue pėdomis jaunas genialus anglas Moseley dar prieš didįjį karą pradėjo visą X-spindulių spektrų tyrinėjimų eilę, pereinant jiems per įvairių kristalų plokšteles, kad nustatytų santykius, kurie veikia tarp tų ar kitų X-spindulių spektrų, tiksliau kalbant, tarp spektrų linijų serijų ir atomų, iš kurių sudarytos kristalų molekulės. Moseley'ui pasisekė konstatuoti labai įdomus faktas, kad tie spektrai nerodo jokių ryšių su atominiu svoriu, bet labai taisyklingai surišti su eiliniu elementų skaičiumi periodinėje sistemoje. Dalykas tas, kad atidedant ant abscisos atominius svorius, o ant ordinatos kvadratinės šaknis iš dažnumo charakteringų tiems atomams X-spektrų linijų, gaunama netaisyklinga laužta linija. O jeigu atidėti ant abscisos eilinius elementų skaičius, o ant ordinatų kvadratinės šaknis iš dažnumų X-spektrų linijų, ata-

tinkančių tiems elementams, tai gaunama tiesi linija. Kitaip sakant, dažnumas auga taisyklingai vienodomis porcijomis, taip sakant pereinant nuo elemento į elementą perijodinėje sistemoje. Reikia pridurti, kad dar ankščiau, tyrinėjant absorbcijos spektrus nematomų spindulių einant jiems įvairia medžiaga kietame, skystame ir dujų stovy, taip pat buvo konstatuota, kad tarp šitų spektrų ir eilinio elementų skaičiaus reiškiasi taisyklingesni sątykiai kaip tarp tų spektrų ir atominio svorio. Tas pat buvo konstatuota sekant ir kitus fizikos chemijos procesus. Bet aiškaus formulavimo nebuvo duota, nes iš pradžios visiems labai keistai atrodė, kad toksai paviršutinis dalykas, kaip eilinis skaičius, gali nulemti tokį dalyką, kaip spektras, kuris pareina iš esmės nuo atomo arba molekulės išvidinės struktūros. Bet Moseley'o konstatuotas faktas privertė fizikus ir chemikus pažiūrėti į šitą dalyką kitaip, ypač kad Moseley remdamasi savo tyrinėjimais ir visa eile žinomų faktų iš įvairių fizikos sričių, kaip šilimos ir elektros laidumas, šviesos dispersija, padarė išvadą, kad eilinis elementų skaičius perijodinėje sistemoje, arba, kaip dabar vadinama, atominis skaičius yra tas pats skaičius kuris rodo, kiek laisvų teigiamų krovinių turi atomo branduolys, arba atkartojant jo žodžius, „kad taisyklingumas X-spektrų linijų yra aiškus įrodymas to, kad atomas charakterizuojasi tokiu pagrindiniu kiekiu, kuris taisyklingai didėja tam tikru kiekiu pereinant nuo vieno atomo į kitą atomą. Šitas kiekis gali būti tiksliai atomo branduolio elektros krovinyš“.

Prie progos pasakysime čionai, kad jaunas gabus tyrinėtojas Moseley buvo mobilizuotas didžiojo karo metu, ištrauktas iš laboratorijos ir pasiųstas į Galipolį, kur pirmame susidūrimo turko kulipka perdūrė jam smegenis. Jam tada tebuvo 28 metai amžiaus.

Kadangi atomas elektriškai neitralus, tai skaičius teigiamos elektros vienetų turi būti lygus su skaičium neigiamos elektros vienetų. Vadinasi, elektronų skaičius atome taip pat apibrėžiamas eiliniu atomo skaičiumi perijodinėje sistemoje. Prie tokios išvados buvo prieita dar prieš Moseley'o eksperimentus su įvairių kristalų X-spektrais. Taip antai, veikiant elektronus X-spinduliams, elektronai darosi sąjūdžio centrais, iš kurių išeina antros eilės X-spinduliai, kurių intensyvumas, arba stiprumas, pasirodo yra proporcingas atominiam skaičiui. Bet tasai intensyvumas antraeilii X-spindulių, kaipo išeinančių iš elektronų, yra proporcingas elektronų skaičiui. Taigi, remiantis tokiais eksperimentais buvo prieita prie išvados, kad elektronų skaičius atome yra lygus atominiam skaičiui. Pridursime dar, kad ta išvada pilnai atitinka žinomiems radijacijos fenomenams, žiūrint į atomus kaip į radijatorius, kurių aktingą dalį šituo žvilgsniu sudaro elektronai. Apie tuos dalykus mums teks kalbėti smulkiau baigiant šitą straipsnį. O dabar mes grįšime prie jau ankščiau paliestų Ruterfordo bandymų, kurie liečia išbarstymą α dalelių, kada tos dalelės eina per plonus įvairios medžiagos sluogsnius, nes tų eksperimentų, atliktų jau paskutiniais laikais, būtent 1919—1920 metais, vaisiai galutinai patvirtina Moseley'o dėsni.

Paimsime labai ploną, sakysime, aukso plokštelę (aukso ploną lapelį) ir paleisime ant to lapelio eilę lygiagrečių α -spindulių, kurie išeina iš tos ar kitos radijoaktingos medžiagos. α -dalelių orbitos, prieš susiduosiant joms su aukso plokštele ir perėjus joms per aukso plokštelę galima sekti fluorescencijos ekrano pagalba. Pastačius α -dalelių pakelii tokį ekraną, mes galime suskaityti scintiliacijas, arba žybtelėjimus, per tam tikrą laiką, kurie žybtelėjimai pasirodo kiekvieną sykį sudavus α -dalelei į fluorescencijos ekraną. Taigi, tokiu būdu mes galime suskaityti α -daleles, kurios per tam tikrą laiką suduoda ekraną. Pastatę dabar tarp ekrano ir radijoaktingos

medžiagos plokštelės aukso plokštelę, mes taip pat galime suskaityti, kiek α -dalelių, perėjusių per aukso plokštelę tuo pačiu laiku, kaip be aukso, suduoda ekraną. Sulygindami pirmojo ir antrojo eksperimento vaisius mes surasime, kad antruoju atveju suduoda ekraną mažiau dalelių kaip pirmuoju ir tokiu būdu surasime, kiek α -dalelių atsilenkia nuo savo pirmųjų kelių, pereinant per aukso plokštelę tiek, kad jau nebepaliečia ekraną. Ruterfordo bandymai, kaip jau ankščiau paminėta, aiškiai rodo, kad didžioji dauguma α -dalelių pereina per ploną aukso plokštelę ir plonas kitų medžiagų plokštes be jokio atsilenkimo ir tik labai maža tų dalelių dalis atsilenkia nuo savo pirmųjų kelių. Iš čia Ruterfordas daro išvadą, kad atomų branduolių diametrai yra tiek maži ir tarpai tarp tų branduolių tiek dideli, kad plonos plokštelės iš bet kurios medžiagos yra kaip rėtis, arba kaip tinklas, su labai didelėmis skylėmis sulyginti su atomų branduolių didumu, taip kad šaunant į tokį rėtį α -dalelėms labai maža šansų, kad jos susidurs su atomo branduoliais ir maža šansų, kad jos tiek prisiartins prie tų branduolių, kad bus atlenktos nuo savo pirmųjų kelių elektros atsparos jėgų veikimo, nes α -dalelės ir atomo branduoliai turi to paties ženklo elektrą. Taigi, kaip jau ankščiau paminėta, lordo Kelvino atomo modelis su teigiamu atomo branduoliu, užimančiu visą atomo tūrį, ir su elektronais, įterptais į tą tūrį, nesuderinamas su Ruterfordo eksperimentų išdava, nepaisant to, kad tasai modelis pilnai atitinka pusiausviros sąlygoms eilei neigiamai įelektrintų dalelių kombinacijoje su teigiamu branduoliu. Todel Ruterfordas priverstas yra, paliekant kol kas pusiausviros sąlygas neišaiškinomis, priimti, kad elektronų ir atomo branduolių diametrai yra tokie maži, kad jų elektros krovinius galima skaityti sukoncentruotais taškuose, ir, vadinas, taikinti toms dalelėms elektros atsparos ir traukos jėgoms Kulono nustatytą dėsnį, kuris sako, kad jeigu dvi elektrinės masės sukoncentruotos taškuose, tai veikianti tarp tokių masių elektros atsparos arba traukos jėga yra tiesioginiai proporcinga toms masėms ir atvirkščiai proporcinga kvadratui atokumo tarp jų. Turint visa tai galvoj ir taikinant žinomą dinaminę lygtį atsilenkimui bet kurios masės nuo savo orbitos įtakoje iš centro veikiančios jėgos, nesunku apskaičiuoti α -dalelių atsilenkimas nuo jų orbitos, prisiartinus joms prie aukso atomo branduolio. Pažymėsime α -dalelių elektros krovinį raide E_1 ir aukso atomo branduolio elektros krovinį raide E_2 , kinetinę tokių α -dalelių energiją raide K , kampinį atsilenkimą α -dalelės nuo savo pirmosios orbitos raide φ ir statmenišką atokumą α -dalelės nuo aukso atomo branduolio (arba statmenišką atokumą α -dalelės orbitos) raide p . Tad augščiau paminėta dinaminė lygtis, vartojama astronomijoje, atrodo taip:

$$p = \frac{E_1 E_2}{2 K} \cot \frac{\varphi}{2}.$$

Šita lygtis rodo, kaip pareina α -dalelių atsilenkimo kampas nuo tų dalelių orbitų atokumo nuo aukso atomo branduolių, nuo jų kinetinės energijos ir nuo jų krovinių. Šita lygtis, kaip jau pasakyta, vienodai pritaikinama ir tuo atveju, kada veikia traukos jėgos ir tuo atveju, kada veikia atsparos jėgos. Sekdami atlenktų dalelių orbitą vienu ir kitu atveju, mes gausime hiperbolę su asimptotomis, tik pirmuoju atveju perturbuojanti dalelės judėjimą masė bus hiperbolės foke, vidury tos hiperbolės, o antruoju atveju bus kitam hiperbolės foke, hiperbolės išorėje.

Iš augščiau paduotos lygties aišku, kad mažėjant atokumui p α -dalelės orbitos nuo atomo branduolio, didės atsilenkimo kampas ir atbulai. Pritaikindami prie šito fenomeno α -dalelių išbarstymo, arba išsklaidymo, galimų teoriją, mes galime suskaityti, kokia dalis α -dalelių, pereinant per aukso plokštelę, bus atlenkta didesniu kampu kaip φ ir, vadinas, jeigu fluorescen-

cijos ekranas bus pastatytas aukso lapelio žvilgsniu didesniu kampu kaip φ , nebepasieks ekrano. Einant galiavų teorija, kiekviena α -dalelė turės juo daugiau šansų susidurti su aukso atomo branduoliais, juo daugiau bus tų branduolių jos pakeliui, vadinasi, juo daugiau bus jų aukso plokštelės storume. Pažymėsime plokštelės storumą raide s ir aukso atomų skaičių tūrio vienetė raide n . Turint aukso plokštelę tam tikro svorio ir žinant iš kinetinės materijos teorijos atomų diametrą ir jų svorį, mes suskaitysimė, kiek iš viso yra atomų paimtoje plokštelėje, kiek jų yra tūrio vienetė ir pagaliau, kiek atomų sudaro plokštelės storumą. Taigi, skaičiai n ir s bus žinomi. Pabrėšime čia, kad darant α -dalelių išsklaidymo eksperimentus imamos plokštelės ne didesnio storumo kaip 100 atomų.

[Sivaizduokime dabar sau, kad apie aukso atomus aprašyti ratai spinduliais p , vadinasi spinduliais, lygiais su atokumais α -dalelės orbitos nuo aukso atomų. Tada aišku, kad α -dalelė atsilenks nuo savo orbitos didesniu kampu kaip φ , jeigu ji eidama per aukso sluoksnį atsidurs ribose vieno iš tų ratų ploto. Vadinasi, šansai atsilenkti didesniu kampu kaip φ bus proporcingi visų tų ratų plotui, kurie randasi α -dalelės pakeliui, kaip tai sako galiavų teorija. Kiekvieno rato plotas πp^2 . Aukso plokštelės storume mes turime $n \cdot s$ aukso atomų, nes tūrio vienetė mes turime n atomų, o storumas s apima s tokių vienetų. Taigi, atsilenkimo didesniu kampu kaip α šansas

$\pi p^2 \cdot ns$ arba $\pi \frac{E_1 E_2}{4 K^2} \cot^2 \frac{\varphi}{2} n s$, jeigu mes priimsime domėn, kad

$$p = \frac{E_1 E_2}{2 K} \cot \frac{\varphi}{2}.$$

Mes jau ankščiau matėme, kad teigiami atomų branduoliai turi elektros krovinius, kurie yra lygūs, arba e , arba $2e$, arba $3e$ ir t.t. (e čia reiškia elektrono kroviny). Pažymėsime aukso atomo branduolio teigiamų krovinių skaičių raide N , tad visas aukso atomo branduolio teigiamasai kroviny bus $N \cdot e$ ir α -dalelės kroviny, kaip mes jau žinome, $2e$. Pakeičiant paskutinėje formulėje E_1 ir E_2 šiais skaičiais mes gausime:

$$E = \frac{\pi ns N^2 e^2 \cdot 4 e^2}{4 K^2} \cot^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{\pi ns N^2 e^4}{K^2} \cot^2 \frac{\varphi}{2}.$$

E čia reiškia tokių α dalelių prisiartinimų skaičių, mažesniu atokumu nuo aukso branduolio kaip p , kurie veda prie didesnių atsilenkimų kaip kampas φ . Kitaip sakant E reiškia tų α -dalelių dalį, kuri, perėjus per aukso plokštelę, bus atlenkta nuo savo orbitų didesniu kampu kaip φ . Šitą α -dalelių dalį galima nustatyti Ruterfordo eksperimentu. Ties plokšte su bet kuria radioaktinga medžiaga statomas fluorescencijos ekranas statmeniskai α -dalelių spinduliams ir suskaitoma, kiek α -dalelių suduoda šitą ekraną per tam tikrą laiką. Paskui tarp radioaktingos plokštelės ir ekrano statoma plona aukso plokštelė ir fluorescencijos ekranas statomas bet kuriuo kampu φ aukso plokštelės žvilgsniu. Dabar vėl suskaitoma α -dalelės, kurios perėję per aukso plokštelę, suduos ekraną. Dabar tokių α -dalelių bus mažiau, nors ir labai nedaug mažiau. Iš šitų dviejų eksperimentų lengva suskaityti tą dalį α -dalelių E , kurios buvo atlenktos pereinant per aukso plokštelę kampu didesniu kaip φ ir, vadinasi, nebepasiekė ekrano. Reikia tik atsiminti, kad taikinant galiavų teoriją priseina skaityti ir viename ir kitame bandyme kiek galima daugiau dalelių, nes galiavų teorijos dėsniai veikia tik dideliems skaičiams. Suradus tokiu būdu E augščiau duotoje lygtyje, visi dydžiai bus žinomi išėmus N -teigiamų elementarinių krovinių skaičius aukso atomo branduolio. Taigi, aprašyti čia eksperimentai duoda galimybės

surasti tą skaičių N ne tik tai aukso atomams, bet ir kitų metalų atomams, atliekant aprašytus čia eksperimentus išsklaidymo α -dalelių su plonomis plokštelėmis iš kitų metalų. Ruterfordo eksperimentai, lygiai kaip ir panašūs eksperimentai Geigerio, Chadwicko ir Crowtherio (paskutinytis darė eksperimentus su atlenkimu β -dalelių, arba elektronų) duoda vieną aiškų atsakymą, būtent, kad N yra lygus atominiam skaičiui. Taigi, mes galime priimti kaip faktą, kad kiekvienas atomas susideda iš atomo branduolio su tokiu skaičiumi laisvų teigiamų elementarinių krovinių, kuris yra lygus atominiam skaičiui ir iš tokio pat skaičiaus elektronų. Mes jau žinome elektrono didumą, būtent jo spindulį ir turime pagrindo manyti, kad visa elektrono masė yra elektriškos kilmės. Kai dėl didumo teigiamo atomo branduolio, tai mes galime padaryti tik šiek tiek pamatuotus spėjimus remdamiesi Ruterfordo α -dalelių išsklaidymo eksperimentais. Aprašyti jau išsklaidymo eksperimentai neduoda galimybės daryti jokių išvadų apie absoliutinį didumą aukso atomo branduolio, nes aukso atomai aukso plokštelėje užima kietas vietas. Vadinasi, mes čia neturime galimybės nei išmatuoti, nei suskaičiuoti kiek paliečiami susidūrimu su α -dalelėmis aukso atomo branduoliai. Mes tik tai turime pamatą iš labai mažo skaičiaus atlenktų α -dalelių spręsti, kad tie branduoliai turi labai mažus spindulius, nedidesnius kaip elektrono spindulys, nes tokio didumo dalelėms galima taikinti Kulono dėsnius, o taikinant Kulono dėsni mes prieiname prie išvadų, kurios gali būti patvirtintos eksperimentais. Bet mes galime paleisti α -daleles į, sulyginti, laisvus atomo branduolius ir sekti, sakysime, α -dalelių išsklaidymą vandenilio dujomis. Pasirodo, kad sudavus α -dalelei į vandenilio atomo branduolį, tie branduoliai įgyja tokios kinetinės energijos, kad sudavę į fluorescencijos ekraną duoda žybtelėjimą. Tai duoda galimybės sekti vandenilio atomo branduolio taką. O sekant jų taką, sakysime, išleidus juos į orą kada jie gavo smūgį nuo α -dalelės, mes galime išmatuoti atliktą jo kelią ore per tam tikrą laiką sulyginti su keliu, kurį per tą patį laiką atlieka α -dalelė ir tokiu būdu suskaityti vandenilio atomo branduolio greitumą. α -dalelės ir vandenilio atomo branduoliai prisiartins už vis labiau vienas prie kito, kada mes tūrėsime vadinamą tiesų arba statmenišką susidūrimą, kitaip sakant, kada α -dalelė droš į vandenilio atomo branduolį tiesia linija, jungiančią jų centrus (aišku, kad ir tokiu atveju abidvi dalelės atšoks viena nuo kitos dar prieš prisiartinant ligi kontakto viena su kita, nes mažėjant atokumams tarp dalelių, atsparos jėga tarp jų, einant Kulono dėsniu, augs smarkiai iki begalybės). Bet vis dėlto tos abidvi dalelės už vis smarkiau prisiartins viena prie kitos prie statmeniško susidūrimo ir atšoks viena nuo kitos apsimainius judėjimo momentais. Tiesioginiai Ruterfordo bandymai rodo, kad tokiu atveju vandenilio branduoliai įgyja greitus, kurie yra 1,6 sykius didesni kaip sudavusios juos α -dalelės greitis. Iš tų vandenilio branduolių greitus mes galime apskaityti atsparos jėgą tarp jų ir α -dalelių, o iš tos atsparos jėgos, einant Kulono dėsniu, apskaitysime atokumą ligi kurio gali prisiartinti α -dalelė ir vandenilio branduolis, kada ta α -dalelė drožia į vandenilio branduolį. Iš šitų suskaitymų išeina, kad α -dalelė ir vandenilio branduolys prisiartina viena prie kito atokumu $1,7 \cdot 10^{-13}$ cm ir, vadinasi, kad jos ligi to atokumo veikia viena kitą kaip kroviniai sukoncentruoti dvejuose taškuose. Taigi priėmus, kad abidvi dalelės turi rutulio formas, išeina, kad suma jų spindulių yra mažesnė kaip $1,7 \cdot 10^{-13}$ cm.

Priimant, kad helio ir vandenilio branduoliai vienodo didumo, $0,8 \cdot 10^{-13}$ cm būtų maksimalinė branduolio spindulio vertė. Bet iš tikrųjų nėra jokio pagrindo skaityti, kad atomų branduoliai vienodo didumo. Iš

tikrųjų, helio branduolys, kaip mes tuoju pamatysime, turi du elektronu. Taigi, šito branduolio kartu su dviem elektronais spindulys būtų maximum $0,8 \cdot 10^{-13}$ cm. Vadinasi, paties helio branduolio spindulys yra dar mažesnis. Nepaisant to, kad visa helio atomo masė sukoncentruota šitame branduolyje, jo masė daug sykių didesnė kaip elektrono masė. Taigi ir čia priseina manyti, kad ta masė yra elektromagnetinės kilmės kaip ir elektrono masė ir šituo atveju toksai manymas turi dar daugiau pagrindo kaip elektrono atveju, nes branduolio masė, būdama žymiai didesnė kaip elektrono masė, sukoncentruota dar mažesniame tūryje kaip elektrono tūris. Iš reiškinio elektromagnetinei masei $\frac{2}{3} \cdot \frac{e^2}{a}$ išeina, kad elektromagnetinė masė yra atvirkščiai proporcinga jos užimto tūrio spinduliui. Vandenilio atomo branduolys, kaip jau mes žinome, yra 1845 sykius masingesnis kaip elektronas. Taigi, skaitant, kad vandenilio branduolio spindulys 1845 sykius mažesnis kaip elektrono spindulys, kitaip sakant lygus $\frac{1,8 \cdot 10^{-13}}{1845} = 10^{-16}$ cm. (apskritai),

mes gautumėm branduolį tokios masės, kuri yra lygi eksperimento keliu nustatytai vandenilio atomo masei. Vadinasi, atomo branduolio spindulys yra apie 10^{-16} cm arba 1000 sykių mažesnis kaip elektrono spindulys. Antra vertus, iš kinetinės dujų teorijos mes žinome, kad atomo spindulys (kitai sakant, viso atomo užimto tūrio spindulys, t. y., branduolio ir elektrono užimto tūrio spindulys) yra apie 10^{-8} cm. Taigi, viso atomo tūrio spindulys būtų 100.000.000 sykių didesnis kaip atomo branduolio spindulys. O atokumas, sakysime, tarp saulės ir kraštutinės saulės planetos Neptuno yra tik apie milijoną sykių didesnis kaip Neptuno spindulys. Taigi išeina, kad atomas yra dar mažiau sudrus padaras, kaip planetų sistema.

Kadangi, einant augščiau nustatytu dėsniu, elektronų skaičius atome yra lygus su atominiu skaičium, o teigiamos elektros atomų skaičius atome taip pat lygus su atominiu skaičium, tai iš viso to, kas ankščiau išdėstyta, išeina, kad vandenilio atomo branduolį reikia skaiyti teigiamos elektros atomu, nes perijodinėje elementų sistemoje vandenilis užima pirmą vietą. Vadinasi, vandenilio atominis skaičius yra 1 ir, vadinasi, jo atomo branduolys sudarytas vieno teigiamos elektros atomo, priimant, kad visa branduolio masė yra elektromagnetinė masė.

Ruterfordas pavadino šią teigiamos elektros atomą, kuris taip ilgai buvo ieškomas, „protonu“. Taigi, neitralus vandenilio atomas susideda iš vieno protono ir vieno elektrono ir šituo žvilgsniu vandenilio atomas yra panašus į sistemą: žemė—mėnulis. Nėnant tokioje sistemoje judėjimo, abi dvi masės pritrauktų viena kitą. Kad jos būtų pusiausviroje tam tikram atokume viena nuo kitos reikia, kad planeta—mėnulis—suktųsi apie branduolį—žemę,—nes tada traukos jėga bus kompensuota išcentrine jėga. Kad vandenilio atomas būtų pusiausviroje taip pat reikia, kad elektronas suktųsi tam tikra orbita. Bet iš elektromagnetinės šviesos teorijos mes žinome, kad toksai elektrono perijodinis judėjimas yra elektromagnetinių bangų erdvėje versmė vadinasi, radijacijos versmė. Taigi, toki sistema nuolat atiduoda energiją erdvei ir todėl, pagaliau, elektronas, nustojęs savo kinetinės energijos, bus pritrauktas prie centro. Didelis šių dienų Danijos fizikas Nils Bohr'as priima, kad, paprastai, elektronai sukasi tokiomis orbitomis, prie kurių nėra energijos nuostolio. Mes vėliau grįšime prie šito klausimo ir pamatysime, kad yra rimtų pagrindų manyti, jog yra tokios pusiausviros orbitos, sukantis kuriomis elektronams nėra energijos nuostolio. Taigi sistema: vienas protonas ir vienas elektronas, panaši į astronominę sistemą: centrinis kūnas ir viena planeta, yra paprasčiausia atomo struktūra.

§ 4. Helio branduolys. Masės nuostolis. Konstitucinė energija. Ličio branduolys. Izotopai. Soddy'o dėsnis. Sunkiųjų elementų branduolių sudėtis. Rutherfordo bandymai su azotu ir deguonim skaldant juos α -dalelėmis. Atominių svorių trupmenų klausimas. Branduolio ir elektronų konfigūracijos. J. J. Thomsono stereometriniai atomų modeliai. Elektronų konfigūracijos plotmėje. „Laisvi“, arba valentingumo, elektronai. Perijodinės sistemos interpretacija.

Kitas perijodinės sistemos elementas, atominio skaičiaus 2, yra helis. Vadinasi, helio branduolys turi 2 laisvu teigiamos elektros kroviniu ir du elektronu, taip kad čia mes turime sistemą, sudarytą iš vieno centrinio kūno ir dviejų planetų. Bet helio atominis svoris yra lygus 4, o vandenilio atominis svoris yra lygus 1,008, priimant deguonies atominį svorį 16. Kadangi protonas yra teigiamos elektros atomas ir atomų branduoliai sudaryti iš tokių atomų, tai reikia priimti, kad helio branduolys sudarytas iš 4 protonų ir 2 elektronų, taip kad pasilieka nekompensuoti du teigiamos elektros atominiai kroviniai, kuriuodu kompensuoja du elektronai—planetos. Taigi, sudarant atomus iš protonų ir elektronų mes turėsime darbo, taip sakant, su dviejų rūšių elektronais: branduolių elektronais ir planetiniais elektronais.

Bet atominė helio masė 4, o vandenilio atominė masė 1,008, kitaip sakant, keturių protonų masė yra 4,032. Išeina taip, kad susidarant helio branduoliui iš keturių protonų, išnyksta 0,032 gramai masės, skaitant ant helio gramatomo. Kur dingsta šita masė? Mes neturime jokio masės nuostolio, kada atomų branduolį sudaro vienas protonas, bet jeigu atomo branduolį sudaro keli protonai, tai elektromagnetiniai laukai jau nebelaivsi ir yra susigrūdę, taip kad kiekvienas iš tų protonų gali pagriebti dabar mažiau jėgų vamzdelių iš apylinkos eterio; o juo mažiau bus pagauta iš apylinkos eterio, juo mažesnė bus masė. Taigi, išeinant iš elektromagnetinės masės koncepcijos ir imant domėn protonų susigrūdimą, masės nuostolis tokiu atveju suprantamas. Bet vis dėlto pasilieka klausimas, kur šita masė dingsta, kas su ja darosi? Į šią klausimą duoda atsakymą Einšteino reliatyvumo teorija, einant kuria, į masę reikia žiūrėti kaip į energijos šaltinį, taip kad absorbuojant kūnui energiją, to kūno masė didėja, o jam energiją išleidžiant, jo masė mažėja.

Mes jau anksčiau matėme, kad elektromagnetinė masė pareina nuo greičio, kada tasai greičius artinasi prie šviesos greičio ir kad santykiui masių paprastame greičiame ir dideliame greičiame veikia lygtis:

$\frac{m_v}{m_0} = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}}$. Čia m_0 yra masė paprastame greičiame, o m_v —masė dideliame greičiame ir $\beta = \frac{v}{c}$. Taigi, mes turime $m_v = m_0 (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$ (Lorenco lygtis). Išplėtodami binomą skliaustuose, gausime:

$$m_v = m_0 (1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - \frac{3}{4} \frac{v^4}{c^4} + \dots) = m_0 (1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}),$$

nes kitas artimiausias išplėto binomo narys bus trupmena $\frac{v^4}{c^4} < 1$ ke-
tvirtam laipsny, vadinasi, labai mažas dydis sulyginti su vienetu, taip kad
tas dydis galima atmesti. Iš čia eina, kad $m_v = \frac{m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2}{c^2}$. Tai yra masės
reiškinys einant reliatyvumo teorija. Aišku, kad skaitiklyje mes turime ki-

netinės energijos reiškini ir kad ta kinetinė energija susideda iš dviejų dalių: vienos mums gerai pažįstamos $\frac{1}{2} m_0 \cdot v^2$, būtent, kinetinės energijos, kuri turi masę m_0 slinkdama greičiu v ir kurią mes apčiuopiame mechanikos fenomenuose, ir kitos dalies $m_0 \cdot c^2$, kuri pareina nuo šviesos greičio. Tai štai šita dalis mechanikos fenomenuose nesirodo, ji reiškiasi tik elektromagnetiniuose fenomenuose. Taigi ar šiaip ar taip, reiškinys $m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 = E$ yra energijos reiškinys ir mes turime pagrindo skaityti, kad kiekviena masė yra ekvivalentinga tam tikram energijos kiekiui, nes iš augščiau duotos lygties išeina, kad masė $m_v = \frac{E}{c^2}$ arba energija $E = m_v c^2$.

Turėdami galvoj šitą ekvivalentingumą masės ir energijos, mes priešime būtiną išvadą, kad susidarant helio branduoliui iš keturių protonų, dalis masės lygi 0,032 gramų, skaitant ant gramatomo helio, virsta energija ir, būtent, duoda 0,032 $(3 \cdot 10^{10})^2$ ergų energijos. Tai yra $0,288 \cdot 10^{20}$ ergų, arba $\frac{288 \cdot 10^{17}}{10^7}$ wattų, arba $\frac{288 \cdot 10^{10}}{1000 \cdot 3600}$ kilowato valandų. Taigi išeina toksai energijos kiekis, kurio pagalba galima būtų varyti be paliovos 16,5 dienų elektros varyklę 2000 kilowattų galios. Vadinasi, čia mes turime tokius milžiniškus energijos išteklius, sulyginti su kuriais smarkiausios mums žinomos sprogstamos medžiagos energija yra nickai. Ir iš tikrųjų, jeigu mums pasisektų išrasti tokį procesą, kuriuo susidarytų helio branduolys iš protonų, tai mes, taip sakant, su trupinėliais medžiagos galėtumėm sukelti milžiniško didumo energijos transformaciją. Šitą energiją galima pavadinti konstitucine medžiagos energija, nes ji glūdi masėje ir pareina nuo masės substrato struktūros.

Kitas iš eilės elementas litis turi atominį skaičių 3 ir atominę masę 6,94. Tai reiškia, kad ličio branduolys turi tris nekompensuotus teigiamos elektros atomus branduolyje ir tris planetinius elektronus. Bet dabar klausimas, iš kokio protonų skaičiaus sudarytas ličio branduolys? Prieš atsakant šitą klausimą priminsime čia, kad dar Kruksas, tyrinėdamas katodo spindulių prigimtį, pareiškė nuomonę, kad fizikos-chemijos metodais nustatomas atominis svoris yra ne kas kita, kaip statistiškai aritmetinis vidurys iš įvairių to paties elemento atominių masių, kitaip sakant, kad tas pats elementas gali turėti įvairias atominės masės. Tyrinėjant radioaktingą medžiagą ir jos spontaninio skilimo produktus, prieinama prie elementų, kurių atominiai svoriai skiriasi tiek, kad tie skirtumai išeina iš neišvengiamų klaidų ribų, o tačiau visi tokie elementai reiškia tą pačią fizišką-chemišką prigimtį ir skiriasi vienas nuo kito tik savo radioaktingumu. Taigi išeina, kad tokius elementus su įvairiais atominiais svoriais reikia talpinti toje pačioje periodinės sistemos vietoje. Todel S o d d y ' s, remdamasis tokiomis išdavomis, pavadino panašius elementus i z o t o p a i s (užinančiais tą pačią vietą).

Tarp kita ko jau seniai žinomas faktas, kad švinas, pagamintas iš įvairių šaltinių, turi įvairią atominę masę, taip kad skirtumas irgi žymiai išeina iš teisėtų klaidų ribų, o tačiau visi tie švino variantai yra identiški fizišku-chemišku žvilgsniu. Pabrėšime čia, kad izotopų reiškinys yra aiškus įrodymas to, kad fiziškos-chemiškos elementų ypatybės ne tiek pareina nuo jų atominio svorio, kiek nuo atominio skaičiaus, kurią išvadą jau mes priėjome remdamiesi ir kitų fiziškų-chemiškų ypatybių studijomis.

Remdamiesi konstatuotu izotopų reiškiniu mes turime pakankamai pagrindo skaityti, kad visais tais atvejais, kur atominė masė neišreiškiama

sveiku skaičiumi, mes turime darbo su izotopais, kaip antai, chloras, kurio atominė masė yra 35,5, susideda iš dviejų rūšių atomų: atominės masės 35 ir atominės masės 37. Reikia pasakyti, kad šita išvada paremta Juozapo Tomsono teigiamų, arba kanalinių, spindulių tyrinėjimais. Iš jo tyrinėjimų tarp kita ko eina, kad chloras smarkiai praskiestame stovyje reiškiasi dviejų izotopų pavidalu su atominėmis masėmis 35 ir 37. Taigi, nesunku suprasti, kad kombinuodami, sakysime, n chloro atomų masės 35 ir m chloro atomų masės 37, mes gausime vidutinišką chloro atomui masę 35,5. Taip pat kombinuodami n_1 atomų ličio masės 7 su m_1 ličio atomų masės 6 mes gausime vidutinišką ličio atominę masę 6,94. Taigi, ličio atomo struktūrą mes turėsime dviem variantais: 6 protonai su trimis branduolio elektronais ir trimis planetiniais elektronais arba 7 protonai su keturiais branduolio elektronais ir trimis planetiniais elektronais. Kadangi, kaip mes jau žinome, planetinių elektronų atokumai nuo branduolių yra bent 1000 sykių didesni kaip branduolių radijai, tai aišku, kad abiejų šitų ličio izotopų fizinės-cheminės savybės bus identiškos, nes tos savybės pareina tik nuo planetinių elektronų ir nepareina nuo branduolio masės. O čia planetinių elektronų skaičius yra tas pats, nes ličio izotopai skiriasi tik branduolio elektronų skaičiumi ir branduolio masėmis. Antra vertus, jeigu bet kurio smarkiu veikimu pasisektų iš sunkesnio ličio izotopo išmušti vieną protoną ir vieną elektroną iš jo branduolio, tai mes gautumėm lengvesnį ličio izotopą, bet fizikos ir chemijos žvilgsniu identišką su sunkesniu, nes išmušimas iš branduolio vieno protono ir vieno elektrono palies tik atominę masę, būtent, sumažins ją, bet labai maža palies traukos jėgas, veikiančias tarp branduolio ir planetinių elektronų.

Spontaneous radijoaktingų elementų atomų skilimo Soddy'o tyrinėjimai duoda pagrindo taip manyti. Tiesai spontanus skilimas, pavyzdžiui, urano atomų, kuris elementas randasi VI periodinės sistemos grupėje, reiškiasi tuo, kad išmetama iš atomo viena α -dalelė ir susidaro pirmas skilimo produktas uranas- X_1 , kuris jau skiriasi ir savo atominiu svoriu ir savo valentingumu (valentingumas čia jau nebe 6, bet 4, nes atomo branduolys nustoja dviejų teigiamų elektros vienetų) nuo urano atomo ir priklauso IV-jai grupei. O išmetant iš urano atomo vieną β -dalelę susidaro skilimo produktas uranas- X_2 , kuris savo atominiu svoriu nesiskiria nuo urano, bet savo valentingumu priklauso V-jai grupei. O jeigu dar bus išmesta viena β -dalelė, tai susidaro uranas-2, kuris vėl priklauso VI-tai grupei. Taigi, išmetimas iš atomo branduolio vienos α -dalelės ir dviejų β -dalelių sumažina atominę masę keturiais vienetais, bet skilimo produktas pasilieka toje pačioje grupėje, vadinasi jo fizinės-cheminės ypatybės nesimaino, nes santykis tarp branduolio ir planetinių elektronų maža keičiasi einant tokiame spontaniame atomo skilime. Mes gauname tokiu atveju izotopą. Kas čia pasakyta apie urano atomo skilimą, galima atkartoti ir apie kitų radijoaktingų elementų atomų skilimą. Tai yra bendras reiškinys žinomas šių dienų fizikoje-chemijoje kaip Soddy'o dėsnis.

Taigi, radijoaktingų elementų transmutacija duoda α -daleles, vadinasi, helio atomo branduolius. Iš šito fakto reikia padaryti išvadą, kad radijoaktingų elementų branduoliai ir, apamai, sunkesnių elementų branduoliai, sudaryti ne iš protonų, bet iš helio branduolių, nes vykstant radijoaktingam procesui visuomet išmetama iš atomo branduolio didelės energijos α -dalelės ir didelio greičio β -dalelės. Šita didelė energija ir didelis greitis bus suprantami, įsidėmint tuos galingus ryšius, kurie veikia tarp atomo

branduolio dalių. Kada tokie ryšiai dėl išvidinių priežasčių arba veikiant išorinėms jėgoms trūksta, tai pasiliuosavę dalys reiškia didelės energijos.

Galima manyti, kad visi tų elementų branduoliai, kurių atominiai svoriai išreiškiami sveikais skaičiais, priėmus deguonies atominį svorį per 16, sudaryti iš helio branduolių. O tais atvejais, kada atominis svoris išreiškiamas skaičiumi su trupmena, atomo branduolį sudaro helio branduoliai su vienu, kitu protonu, kurio masė yra 1,008 sulyginant su deguonies 16. Kadangi tie protonai čia randasi gan palaidame stovyje, tai mes čia neturime masės nykimo, kaip protonams sudarant helio branduolį ir todėl taip sudaryti atomai turi mases, išreiškiamas sveikais skaičiais su mažesne arba didesne trupmena. Išdėstyta čia pažiūra į sudėtį sunkesnių elementų branduolių remiasi faktais, nustatytais Ruterfordo, kuris skaldė sunkesnius atomus energingomis α -dalelėmis. Skaldant azotą α -dalelėmis pasirodė kaip tokiu skaldymo produktas vadinamos ilgesnio laipsnio α -dalelės, vadinasi didesnio greičio α -dalelės, kurios sugeba atlikti ore ir dujose ilgesnius kelius kol tiek nustoja savo energijos, kad neveikia fosforescencijos ekraną. Kitaip sakant, tas ilgesnio laipsnio α -dalelės galima aiškiai atskirti nuo tų α -dalelių, kuriomis pirmosios išmušamos iš atomo branduolio, todėl, kad pirmosios dalelės sudaro scintiliacijas ant ekrano ore arba dujose tokiame atokume nuo tų dalelių židinio (foko), kurio ore arba dujose skaldančios α -dalelės nepasiekia. Žinomu jau mums magnetiniu ir elektrostatišku atlenkimu galima įrodyti, kad tos ilgesnio laipsnio α -dalelės turi tą patį $\frac{m}{e}$ kaip ir radijaus išmestos α -dalelės. Kartu su šiomis ilgesnio laipsnio α -dalelėmis Ruterfordas, skaldydamas azotą, konstatavo ir ilgo laipsnio vandenilio jonus, kurie suduodami į ekraną žybtelėja. Vadinasi, skylant azoto branduoliui atsiranda helio branduoliai ir protonai. Todėl yra pakankamai pagrindo manyti, kad azoto branduolys sudarytas trimis helio branduoliais ir dviem protonais. Antra vertus, skaldydamas α -dalelėmis deguonį Ruterfordas konstatavo kaip skilimo produktus tik helio branduolius. Todėl deguonies branduolys reikia skaityti sudarytu iš keturių helio branduolių.

Nebesigilindami į kitų elementų branduolio konstrukcijos smulkmenas duosime čia tik taisyklę, kurios prisilaikoma sudarant atomo branduolį ar tai iš protonų, ar tai iš helio branduolių, ar tai iš tų ir kitų: reikia paimti tiek protonų, kiek yra vienetų atominėje masėje ir sujungti tuos protonus su tokiu skaičiumi elektronų, kad branduolio teigiamų laisvų krovinių skaičius būtų lygus elemento atominiam skaičiui. Pagaliau, kad išeitų neitralus atomas, reikia priskirti branduoliui tokį skaičių planetinių elektronų, kuris yra lygus elemento atominiam skaičiui. Tokiu būdu šiandien konstruojami atomų modeliai išeinant iš elektronų ir protonų.

Dabar paliesime trumpai branduolio ir planetinių elektronų konfigūracijos klausimą. Jau mes ankščiau minėjome, kad Kelvinas manė, jog teigiamas atomo branduolys užima visą atomo turį rutulio pavidalą ir kad elektronai įterpti į šitą turį ir sukasi jame apie centrą tam tikromis orbitomis. Reikia pasakyti, kad šitas Kelvino atomo modelis patenkina elektriškos pusiausviros reikalavimus, bet nesuderinamas su Ruterfordo konstatuotu faktu, būtent, kad α -dalelės prasimuša per plonas įvairios medžiagos plokštes daugiausia be jokio atsilenkimo. Vis dėlto vienas iš didžiausių šitos srities tyrinėtojų Kembridžo fizikas Juozapas Tomsonas pamėgino išplėtoti Kelvino idėją, spręsdamas branduolio ir elektronų konfigūracijos problemą matematiškos analizės pagelba, taip kad sistema elektriška būtų pusiausviroje. Reikia pasakyti, kad tai yra vienas iš sunkiausių

matematikos uždavinių ir kad Tomsonui pasisekė išspręsti pastatytas klausimas tik konfiguracijai arba sistemai iš vieno branduolio ir aštuonių planetinių elektronų, taip kad sistema būtų elektriškai pusiausviroje. O paimėms kombinacijoms šitą uždavinį išspręsti šių dienų matematika pasirodė bejėgė. Trumpai atkartosime čia Tomsono analizės rezultatus.

Vandenilio atomą galima atvaizdinti teigiamos elektriškos sferos pavidalu, apie kurios centrą jos vidury tam tikram atokume nuo šito centro sukasi orbita vienas planetinis elektronas. O jeigu tas elektronas aprimęs, tai jis randasi sferos centre.

Helio atomas susideda iš teigiamos sferos. Tos sferos vidury randasi du planetiniai elektronai, kurie sukasi apie sferos centrą tam pačiam atokume nuo to centro.

Kada branduolys turi tris planetinius elektronus, kaip, pavyzdžiui, ličio atomas, tai tie trys elektronai randasi ant kampų trikampio, įbrėžto į teigiamą branduolio sferą.

Turint branduolį su keturiais elektronais galima patalpinti juos ant kampų kvadrato, įbrėžto į sferą. Bet tokia konfiguracija bus pastovi tik tam tikro elektronų greitumo ribose. Perėję šitą greitumą elektronai užima kampus tetraedro, įbrėžto į teigiamą sferą. Šita konfiguracija su keturiais planetiniais elektronais yra pastoviausia.

Šeši planetiniai elektronai užima taisyklingo oktaedro kampus.

Aštuoni elektronai gali užimti įrašyto į teigiamą sferą kubo kampus. Bet tokia konfiguracija yra nepastovi. Pastoviausią konfiguraciją aštuoni elektronai sudaro tada, kada jie pasidalina dviem sluogsniais teigiamoje sferoje, taip kad keturi elektronai vidurinio sluogsnio užima vidurinio tetraedro kampus ir keturi elektronai išorinio sluogsnio užima keturis išorinio tetraedro kampus.

Kadangi šiandien nėra galima nustatyti painesnes stereometriškas konfiguracijas, tai belieka tik pasitenkinti konfiguracijomis elektronų plotmėje, sprendžiant įvairius fizikos-chemijos uždavinius, nepaisant to, kad tikrenybėje mes visgi turime konfiguracijas erdvėje.

Elektronų pusiausviros konfiguracijos plotmėje lengviau sudaryti, nes jas galima paremti teisioginiais Mayerio eksperimentais apie konfiguracijas tam tikro skaičiaus tos pačios rūšies magnetinių polių. Mes galime paimti tą ar kitą skaičių plieninių adatų ir įmagnetinti jas visas vienodai. Prakišime adatas pro kamščiuokus, sakysime, šiaurės poliais, o jų ilgesnius galus su pietų poliais įleisime į vandenį. Tarp tos pačios rūšies polių išorėje ir vandeny veikia atsparos jėgos, kaip ir tarp elektronų. Teigiamo branduolio veikimą mes galime čia pakeisti dideliu magnetu, patalpinę to magneto šiaurės polį apačioje indo su vandeniu. Tad šiaurės polis reikš traukos jėgą į adatų pietų polių, nelyginant kaip atomo branduolys reiškia traukos jėgą į elektronus. Darant tokius eksperimentus magnetų poliai pasidalina grandimis. Pasirodo, kad daugiausia penki magnetai gali sudaryti vieną grandį. Paėmus šešis magnetus, magnetai tuojau pasidalina taip, kad vienas užima grandies vidurį, ant kurios atsiranda kiti penki magnetai. 10 magnetų sudaro dvi grandies: vieną vidurinę iš trijų magnetų ir antrą išorinę iš septynių magnetų. Dvidešimts magnetų pasidalina irgi dviem grandimis: vidurinė iš 8 magnetų ir išorinė iš 12 magnetų.

Remiantis šitais eksperimentais nustatyta elektronų konfiguracijoms tokia bendra pastovumo sąlyga. Elektronų sluogsnis, arba grandis, gali būti pastovios pusiausviros padėty tik tuomet, jeigu to sluogsnio, arba grandies, vidury bus kita elektronų grandis su tam tikru minimaliu elektronų skaičium-

mi. Šiandien kol kas interpretuojant fizikos-chemijos fenomenus išeinama iš panašių elektronų konfigūracijų plotmėje. Taigi, tokie dalykai, kaip kohezijos jėgos, skysčių garų slėgimas, elastingumas ir t. t. pareina nuo elektronų konfigūracijos ir yra ne kas kita, kaip atomų atstojamosios traukos ir atsparos jėgų išdava.

Aišku, kad juo toliau nuo branduolio randasi elektronų grandis, juo silpnesni bus ryšiai tarp elektronų ir branduolio, juo laisvesni bus elektronai ir juo lengviau juos galima bus išmesti iš grandies. Antra vėrtus, juo lengviau galės užimti toje grandyje vietą arti nuo jo atsiradęs laisvas elektronas. Šiandien galima skaityti faktą, kad šviesos radijacija, absorpcija ir dispersija, lygiai kaip metalų laidumas ir jonizacija, pareina nuo tokių laisvų elektronų tolimesnėje nuo branduolio grandyje. Todėl šitie elektronai ir vadinami laisvais elektronais, arba dispersijos elektronais, arba, pagaliau, valentingumo elektronais, nes atsiskyrus nuo grandies vienam, antram, trečiam elektronui, mes gausime vienvaentingą, divaiveringą, trivaiveringą ir t. t. teigiamą joną, arba įėjus į grandį iš šalies vienam, antram, trečiam elektronui mes gausime vienvaiveringą, divaiveringą, trivaiveringą neigiamą joną.

Priėmus laisvų elektronų koncepciją, galima lengvai išaiškinti ne tik paprasčiausius periodinės sistemos santykius, bet ir tas jos ypatybes, kurios iki šiol buvo visiškai nesuprantamos.

Taigi, remdamiesi augščiau išdėstytais matematiniais nagrinėjimais, J. J. Tomsono ir Mayerio bandymais su magnetiniais poliais, mes prieiname prie išvados, kad tam tikras elektronų skaičius pasidalina į kelias grandis (arba į kelis sluoksnius) apie centrinį atomo branduolį. Kad visa tokia sistema, panaši į Saturno planetą su jo grandimis, būtų pusiausviroje ir kad kiekvienos grandies elektronai būtų tarp savęs pusiausviroje, reikia, kad kiekvienoje grandyje būtų tam tikras elektronų skaičius. Jeigu šitos sąlygos išpildytos, tai mes turėsime pastovią pusiausvirą ir elektronų grandys bus sočios ta prasme, kad neberekš atomo išorėje jokių likučių traukos jėgų, veikiančių tarp branduolio ir elektronų, lygiai kaip neberekš jokių elektros atsparos jėgų likučių. Bet gali atsitikti ir taip, kad atomas turės daugiau elektronų kaip reikalinga pastoviai sistemos pusiausvirai. Tai štai šitie perteklio elektronai ir bus laisvesni, nes jie labai silpnai bus surišti su atomo branduoliu. Vadinasi, sulyginti silpnomis jėgomis galima bus tuos elektronus ištraukti iš atomo ir tokiu būdu jonizuoti atomą. Aišku taip pat, kad tokių elektronų pašalinimas iš atomo mažą tepalies atomo struktūrą ir jo charakteringus požymius. Visuomet šitie laisvesni elektronai bus tolimiausioje nuo branduolio grandyje, arba orbitoje, kitaip sakant išorės grandyje. Taigi, šitokia grandis nebus soti. Bet gali atsitikti ir taip, kad toje išorės grandyje elektronų skaičius bus mažesnis kaip reikia pastoviai sistemos pusiausvirai. Ir tada toji išorės grandis nebus soti ta prasme, kad elektros traukos ir atsparos jėgos nebus pilnai kompensuotos. Taigi, į tokią grandį iš šalies gali būti įtrauktas vienas kitas elektronas ir tuo būdu atomas gali virsti neigiamu jonu.

Paimsime aplamai atomą, kurio sistema bus pastovios pusiausvros sąlygose, jeigu joje bus A planetinių elektronų, pasidalinusių grandimis, arba sluogsniais, aplink branduolį. Tegu be to šitas atomas turi išorės grandį iš N elektronų ir tegu A elektronų vidurinėse grandyse pakanka, kad stabilizuotų iš viso B elektronų išorės grandyje ir pagaliau tegu $B > N$. Iš tokio atomo nesunku ištraukti, veikiant tam tikriems veiksniams, N elektronų, palikus branduolį su A elektronais ir su N laisvais teigiamais kro-

viniais. Ištraukti iš tokio atomo daugiau elektronų yra labai sunkus dalykas, nes tada jau reikėtų pakeisti iš esmės paimto atomo struktūrą, nes tasai atomas sudaro pusiausviros sistemą, esant jame A planetinių elektronų. Bet mes jau priėmėme, kad A elektronų vidurinių grandžių gali stabilizuoti iš viso B elektronų išorinėje grandyje. Taigi, į šitą išorinę grandį gali dar įeiti iš šalies B—N elektronų ir tada mes gausime neigiamą joną su B—N laisvų neigiamų krovinių. Bet tokia sistema būtų pastovios pusiausviros sąlygose, jeigu atomo branduolys turėtų $A+B$ laisvų teigiamų krovinių. O iš tikrųjų jis turi tik $A+N$ laisvų teigiamų krovinių. Taigi, iš tikrųjų tokia, sistema bus labai nepastovi ir lengvai atiduos savo perteklio elektronus. Iš čia eina, kad visiems tiems elementams, kurių atominiai skaičiai randasi tarp A ir B, jonizacijos ribos randasi tarp A ir $A+B$, taip kad suma elektronų, kuriuos lengva iš atomo ištraukti, ir elektronų, kurie gali į atomą įeiti iš šalies, visuomet yra lygi $N+B-N=B$. Vadaujantis tokiais protavimais ir chemijos reakcijomis amerikietis Langmuir'as nustatė įvairiems elementams pastovias elektronų konfigūracijas. Įdomu, kad grynai empirinės Langmuiro konfigūracijos atitinka Nils'o Bohro konfigūracijoms, nustatytoms remiantis elementų linijinių spektrų matematiniais nagrinėjimais.

Išeinant iš nustatytų čia principų, padarysime trumpą apžvalgą Mendelėjevo periodinės sistemos. Iš to, kas ankščiau pasakyta eina, kad jeigu to ar kito elemento išorinė grandis, arba orbita, yra sotė, tai toksai elementas neturi laisvų, arba dispersijos, arba valentingumo elektronų ir neturi likučių elektros jėgų, nuo kurių pareina kohezijos jėgos tarp atomų arba molekulių ir visa tai, kas surišta su tomis kohezijos jėgomis. Taigi, toksai elementas, neturėdamas laisvų elektronų, bus labai blogas elektros laidininkas, nereikš šviesos dispersijos ir tarp jo molekulių nebus jokių ryšių. Maža to, nebus jokių jėgų, kurios riša atomus molekulėje, taip kad tokio elemento atomai bus visiškai palaidi. Kitaip sakant, tokių elementų molekulės bus vienatominės. Pagaliau, nesant jokių kohezijos jėgų, tokie elementai bus dujų stovyje ir jie sunku bus paversti skysčiais, kitaip sakant, jų kritiškoji temperatūra bus labai žema ir, vadinasi, ir jų normalinė virimo temperatūra bus labai žema. Aišku taip pat, kad tokie elementai bus chemiškai neaktingi, nes chemiškas aktingumas yra surištas su lengvos jonizacijos galimybe. Visa eilė tokių dujų elementų surasta atmosferoje 1894—1896 metais Anglų didelio chemiko Williamo Ramsay'o. Tai yra elementai helis (He), neonas (Ne), argonas (Ar), kriptonas (Kr) ir kiti. Šiems elementams patalpinti periodinėje sistemoje, prisėjo paskirti jiems toje sistemoje atskirą grupę, pažymėta raide O, vadinama nulinė grupė (žiūr. periodinę lentelę), nes valentingumas tokių elementų yra 0 (kitai sakant, juos labai sunku jonizuoti, labai sunku išmušti iš jų elektronus) ir chemiškai jie yra neaktingi. Be to, jie visi yra dujiški elementai, sudaryti iš vienatominių molekulių, turi labai žemas kritiškas temperatūras, reiškia labai silpnai šviesos dispersiją ir yra labai blogi elektros laidininkai. Vienu žodžiu, visi jų fiziški-chemiški požymiai pilnai atitinka tam, kas galima numatyti išeinant iš augščiau išdėstytų principų.

Lengviausias iš tų neaktingų elementų helis užima antrą vietą periodinėje sistemoje, vadinasi, jo branduolys turi du laisvus teigiamus krovinius ir todėl apie branduolį randasi du planetiniai elektronai. Kadangi helio atomas sudaro pastovią pusiausvirą, tai jo elektronų grandis yra sotė. Iš čia mes darome išvadą, kad artimiausioji nuo branduolio grandis visuomet turės du elektronus ir tik tokiomis sąlygomis ta grandis bus sotė.

Antrasai šitos grupės elementas neonas užima perijodinėje sistemoje dešimtą vietą. Vadinasi, jo atominis skaičius 10 ir todėl apie jo branduolį mes turime 10 planetinių elektronų. Remdamiesi Tomsono ir Mayerio tyrinėjimais mes turime pagrindo laikyti, kad tie 10 elektronų paskirstyti apie neono branduolį dviem sluogsniais arba dviem grandimis: vidurinė iš dviejų elektronų ir išorinė iš 8 elektronų. Abidvi tos grandys sočios, nes mes turime darbo su labai pastoviu elementu. Iš čia mes darome išvadą, kad susidarant apie atomą antrajai grandžiai, toji grandis bus soti, jeigu joje bus 8 elektronai.

Trečiasai nulinės grupės elementas argonas užima perijodinėje sistemoje 18 vietą. Vadinasi, jo atominis skaičius 18 ir apie jo branduolį randasi 18 planetinių elektronų, kurie remiantis Tomsono ir Mayerio tyrinėjimais ir Langmuiro empiriniais daviniais, paskirstyti trimis grandimis, būtent, artimiausia branduolio grandis iš dviejų elektronų, antroji grandis iš 8 elektronų ir trečioji grandis taip pat iš 8 elektronų. Visos tos trys grandys sočios ir iš čia mes darome išvadą, kad susidarant apie atomą trečiajam planetinių atomų sluogsnui, tame sluogsnyje turi būti 8 elektronai, kad jis būtų sotas. Priminsime tik, kad kalbant apie elektronų sluogsnius, mes turime galvoj elektronų padalinimą erdvėje, o kalbant apie grandies mes turime galvoj elektronų padalinimą plotmėje. Į šią elektronų padalinimą plotmėje reikia žiūrėti kaip į laikiną skiemenį, kuris palengvina kai kurių svarbių klausimų sprendimą, bet kuris ateityje bus pakeistas stereometriniais skiemenimis.

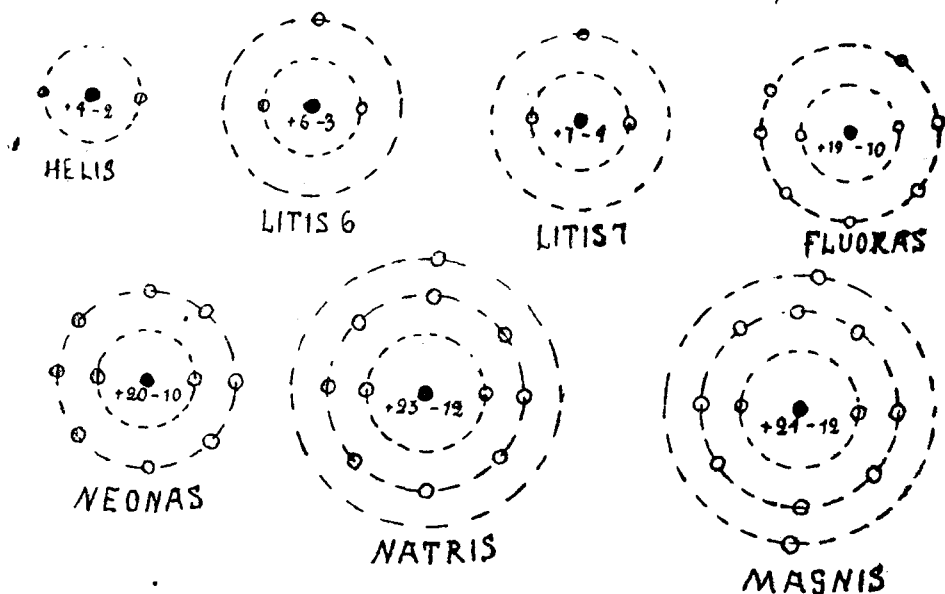
Einant tais pačiais protavimais mes konstatuosime, kad apie kriptono branduolį randasi 36 planetiniai elektronai, kurie padalinti į keturias grandis iš eilės: iš dviejų elektronų, 8 elektronų, 8 elektronų ir 18 elektronų. Taigi, jeigu susidaro ketvirta grandis apie atomo branduolį, tai joje turi būti nemažiau kaip 18 elektronų, kad ji būtų soti. Aplamai, grandyse, kad jos būtų sočios, turi būti iš eilės toki skaičiai elektronų, pradedant nuo artimiausios branduolio grandies: 2 8 8 18 18 32 6. Taip, sunkiausias elementas, uranas užima perijodinėje sistemoje paskutinę 92 vietą. Taigi, apie jo branduolį randasi 92 planetiniai elektronai, kurie yra pasiskirstę septyniomis grandimis, arba orbitomis, su augščiau nurodytais elektronų skaičiais. Taigi, urano atomas sudaro už vis didžiausį kompleksą.

Pereinant dabar prie pirnos perijodinės sistemos grupės, mes turėsime nulinės grupės kaimynus, kurių atominiai skaičiai bus vienu didesni, kaip nulinės grupės elementų atominiai skaičiai. Kitaip sakant, pirmos grupės išorinėse grandyse, arba orbitose, bus vienu elektronu daugiau, kaip gretimose nulinės grupės elementuose. Taigi, ta išorinė grandis bus čia, taip sakant, persoti ir tas vienas elektronas bus, sulyginti, palaidas elektronas, silpnai surištas išeinančiomis iš branduolio jėgomis. Taigi, jis galima bus lengvai išmušti iš atomo, vadinasi, lengvai galima bus atomas jonizuoti teigiamai. Be to, šitie elementai bus geri elektros laidininkai, jie reikš smarkiai šviesos dispersiją ir visi bus vienvaentingi elementai. Žinomos pirmos grupės elementų fizinės-cheminės ypatybės pilnai patvirtina šitas išvadas.

Pereinant nuo elementų pirmos grupės į elementus aštuntos grupės, skaičius elektronų išorinėje grandyje arba valentingumo grandyje nuosakiai didės visuomet vienu elektronu, pereinant nuo vienos grupės į artimiausią gretimą grupę, taip kad antroje grupėje mes turėsime du, sulyginti, palaidu elektronu, trečioje—tris, ketvirtoje—keturis ir t. t. ir septintoje—septynis. Bet reikia atsiminti, kad pereinant toje pačioje eilėje nuo grupės į

grupę branduolio laisvų teigiamų krovinių skaičius taip pat nuosaikiai didės. Vadinasi, ryšiai tarp šito branduolio ir išorinės, arba valentingumo, grandies bus stipresni ir todėl šitie elektronai bus jau ne tiek laisvi, kaip išorinės grandies pirmos grupės elektronai. Tai reiškia, kad jonizacijos galimybė silpnės, silpnėjant tuo pačiu laiku ir metaliniam elementų charakteriui ir mes pagaliau nuosaikiai prieisime prie septintos grupės elementų su septyniais elektronais išorinėje orbitoje, vadinasi, prieisime prie tikrų metaloidų su aiškiu elektroneigiamu charakteriu. Bet jau čia dabar atomui bus lengviau stabilizuoti savo išorinę, arba valentingumo, orbitą, įtraukus iš šalies į tą orbitą vieną elektroną. Ir todėl septintos grupės elementai tam tikromis sąlygomis lengvai jonizuosis neigiamai įtraukdami į savo išorinę orbitą vieną elektroną.

Bet įtraukus vieną elektroną ir atitinkamai padidėjus branduoliui vėl susidaro soti išorinė grandis ir mes nuo griežtai elektroneigiamo elemento, sakysime, chloro iš eilės pereiname prie argono, kurio atomas yra labai pastovus ir kuris priklauso vėl nulinei grupei.



Aštuntos grupės elementai, t. y. geležies ir platinos šeimų elementai, reiškia anomaliją tą prasmę, kad jų valentingumas nėra pastovus dydis ir mainosi tam tikrose ribose. Galima manyti, kad tai pareina nuo to, kad tų elementų išorinės grandys turi keletą, sąlyginti, palaidų elektronų ir todėl išmetant vieną, du, tris, keturis ir t. t. tokius palaidus elektronus, tos grupės atomai reikš įvairų valentingumą. Tas pats reikia pasakyti apie artimiausius jiems iš eilės pirmos grupės elementus, kaip varis, sidabras ir auksas.

Pagaliau, atkreipsime dar čia dėmesio į tai, kad atsiradus labai arti vienas nuo kito dviem atomam didesnio ir mažesnio tūrio, pastarasai atomas reikš aiškią tendenciją ištraukti iš didesnio tūrio atomo elektronus. O didesnio tūrio atomas reikš tendenciją pasiliuosuoti nuo savo elektronų, nepakankamai stabilizuotų. Taigi, toje pačioje perijodinės sistemos grupėje

sunkesni elementai, kurie apamai turi didesnius atominis tūrius, kaip lengvesni elementai tos pačios grupės, reikš aiškesnį metalinį charakterį, bus aiškiai elektroteigiami elementai, tuo tarpu kai tos pačios grupės lengvesni elementai reikš elektroneigiamą charakterį. Šita prasme ryškų pavyzdį mes turime penktoje grupėje, kur, sakysime, azotas ir fosforas yra aiškiai elektroneigiami elementai, tuo tarpu kai sunkiausias tos grupės elementas bismutas yra metalas ir aiškiai elektroteigiamas elementas.

Šis piešinys (5) atvaizduoja kai kurių atomų struktūrą remiantis augščiau išdėstytais principais. Vidury tų skiemenų juodais ratukais pažymėti branduoliai. Skaitmens prie tų branduolių rodo protonų skaičių ir elektronų skaičių, kurie sudaro tuos branduolius. Orbitos planetinių elektronų nupieštos neprisilaikant tikro mastabo. Imant domėn labai mažą diametrą branduolio sulyginti su viso atomo diametru, pažymėjus tik tašku branduolį, reikėtų artimiausiai nuo branduolio orbitai suteikti diametrą apie 20 cm. Taigi, piešiant tikru matu knygos lape neužtektų vietos.

§ 5. Radijacija. Elektromagnetinė šviesos teorija. Zeemano efektas, kaip įrodymas, kad elektronų virpėjimai yra tikras elektromagnetinių bangų šaltinis. Suskaitymas santykio m/e išseinant iš Zeemano efekto. Elementų spektrai ir jų painumas. Spektrų linijų empirinės lygtys Balmerio, Rydbergo ir kitų. Ryšiai tarp atominės struktūros ir spektrų. Sąlygos, kuriomis atomai būna radijatoriais ir kuriomis jie absorbuoja radijaciją.

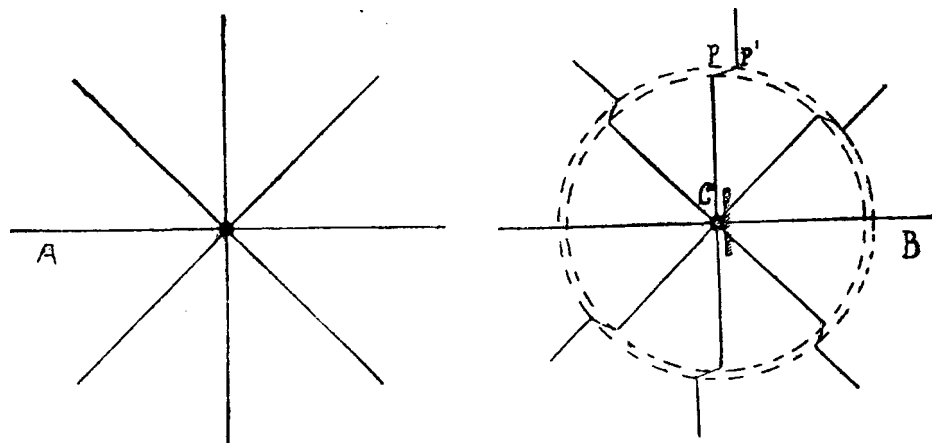
Energija, šviesos ir šilimos pavidalu, skleidžiasi erdvėje bangomis. Tos bangos išeina iš to ar kito fizinio kūno. O pasiekusios erdvėje kitą fizinį kūną, jos absorbuojamos. Taigi, tas pats kūnas gali leisti energiją spinduliais ir tada mes vadiname šitą kūną radijatorium. Tas pats kūnas gali ir absorbuoti pasiekusią jį energiją. Dėsniai, kuriais eina toksai energijos sklydimas, arba radijacija, o ypač dėsniai, kaip pasidalina energija tarp įvairaus perijodo, arba įvairaus dažnumo, bangų, kurias leidžia arba absorbuoja fiziniai kūnai, ir pagaliau klausimas, kokios rūšies, kaip sudarytos tos fizinės kūnų dalelės, sakysime, čia tiesiai atomai, kurie yra tikri energijos radijatoriai ir receptoriai,—tas klausimas turi didžiausios reikšmės kaip teorijos, taip ir praktikos žvilgsniais.

Kaip žinoma, dar ir šiandien elektros srityje vartojami įvairiems elektros matavimams dviejų rūšių vienetai: elektrostatiniai ir elektromagnetiniai. Pirmieji remiasi Kulono dėsniu, antrieji Savarto ir Ampero dėsniais. Mes turime elektrostatinis vienetų elektros masės arba kiekio, elektros potencialo, elektros talpumo ir elektros laidumo. Lygiagrečiai mes turime elektromagnetinius vienetų tų pačių dydžių. Taigi, jau seniai buvo atkreipta dėmesio į tai, kad santykis tarp dviejų tos pačios rūšies vienetų, elektrostatinio ir elektromagnetinio, turi greičio išvaizdą (yra santykis tarp ilgio ir laiko). Galima šitas santykis suskaityti išseinant iš tam tikrų elektrostatinių ir elektromagnetinių konstantų ir galima jį nustatyti eksperimento keliu. Galima, sakysime, užtaisyti kondensatorių tam tikro talpumo elektrostatiškai iki tam tikro potencialo, suteikus jam tokiu būdu tam tikrą elektros kiekį, išreikštą elektrosstatiniais vienetais. Galima paskui šitą kondensatorių iškrauti per balistinį galvanometrą ir, vadinasi, išmatuoti tą patį kiekį elektros elektromagnetiniais vienetais, vadinamais veberiais (1 veberis lygus 10 amperų). Pasirodo, kad santykis tarp išmatuotų dviejų dydžių tos

pačios rūšies yra lygus $3 \cdot 10^{10}$ cm. per sekundą vadinasi, yra lygus labai, dideliui greiui.

Antra vertus, jeigu tam tikras elektros kroviny išreikštas elektros tinais vienetais slenka tam tikru greiui, tai toksai slenkąs elektros kroviny yra visais žvilgsniais tolygus elektros srovei per laidininką. Kaip laidininko apylinkėje susidaro tokiu atveju magnetinis laukas, taip ir slenkančio tam tikru greiui elektros krovinio apylinkėje susidaro magnetinis laukas. Kaip laidininkas, per kurį eina elektros srovė veikia magnetą ir stengiasi pastatyti šitą magnetą statmeniškai srovės krypčiai, taip ir slenkąs elektros kroviny veikia magnetą. Taigi, galima atlikti dar ir toks eksperimentas. Paėmus ebonito skridinį (diską) ir užtaisius jo kraštą per visą apskritimą tam tikru elektros kiekiu, reikia tas skridinys sukti dideliu greiui. Tada mes turėsime slenkantį elektros krovinį ir jis veiks magnetinę busolę kaip srovė, kuri eina per laidininką. Pasirodo, kad magnetinis veikimas taip sukamo elektrostatinio krovinio yra lygus elektros srovės veikimui, kurios stiprumas išreikštas elektromagnetiškai yra lygus $\frac{e \cdot v}{3 \cdot 10^{10}}$ veberų. Čia e reiškia elektros kiekį elektrostatiniais vienetais, skaitant ant vieno santimetro paimto disko apskritimo, o v reiškia greitumą kiekvieno disko apskritimo taško. Taigi, ir tokiu eksperimentu konstatuojama, kad santykis tarp elektrostatiškai ir elektromagnetiškai išmatuotos elektros srovės yra lygus greiui $3 \cdot 10^{10}$ cm. per sekundą. Nurodyti čia eksperimentai su kondensatorio iškrovimu atlikti tokių didelių fizikų, kaip vokiečiai Veberis ir Gausas. O eksperimentai su sukamu ebonito disku atlikti irgi nemažesnių fizikų, tokių kaip anglas Williamas Tomsonas, amerikietis Rowland'as ir pagaliau vokiečiai Himstedt'as. Konkretiškai kalbant, šitų eksperimentų išdava yra tokia: elektrostatinis elektros vienetas, kuris slenka greiui 300.000 kilometrų per sekundą, yra lygus veikimo žvilgsniu elektromagnetiniam elektros vienetai. Šitas faktas nustatytas augščiau aprašytais eksperimentais 1860—1864 metais ir reikia pasakyti, kad tas faktas iš pradžios nustebino fizikus, nes sakyta čia greiui yra ne kas kita, kaip šviesos greiui, tvirtai ir rimtai fizikoje nustatytas remiantis kaip astronominiams tĕmijimais, taip ir tiesioginiais fizikiniais matavimais laboratorijose. Bet kas gi bendra tarp šviesos fenomenų ir elektromagnetinių reiškinų? Tokį klausimą stato sau visa eilė fizikų, bet rimčiausiai užsiima juo didelis Anglijos fizikas Klerkas Maksvelis (Maxwell), kuriam nėra jokių abejonių, kad šitas keistas santykis tarp dviejų rūšių vienetų nėra pripuolamas dalykas ir pareina nuo to, kad šviesos fenomenai ir elektromagnetiniai fenomenai verčiasi tame pačiame medijume, erdvėje. Reikia pasakyti, kad Maksvelis buvo kurį laiką Faradejo mokiny ir persiėmęs Faradejo jėgų laukų, jėgų linijų ir jėgų vamzdelių koncepcijos, kurią Faradejas sudarė sau, kad suprastų ir išaiškintų jam žinomus ir daugely atvejų jo paties išrastus ir nustatytus elektrostatinis bei elektromagnetinius fenomenus. Faradejas manė, kad nėra betarpio veikimo tarp magnetinių arba įelektrintų kūnų, nėra vadinamosios pagarsėjusios „actio in distans“ ir kad yra tam tikras medijumas, kuris tarpininkauja tokiui veikimui, kuris perduoda magnetinių ir elektros jėgų veikimą nuo vieno kūno į kitą, per kurį vyksta magnetinė ir elektros indukcija ir elektromagnetinė indukcija. Be to, jis manė, kad toksai elektros ir magnetinių jėgų veikimas persiduoda per medijumą ne akymirksnyje, bet reikalingas yra tam tikro, nors ir labai mažo laiko. Šitas Faradejo mintis priėmė Maksvelis ir, būdamas puikus matematikas, apvilko jas gražia matematikos forma. Maksvelio elektromagnetinio lauko lygtis yra

kiekvienam fizikui gerai žinomas dalykas. Esmė šito elektromagnetinio lauko buvo trumpai mūsų išdėstyta anksčiau, prisilaikant Faradejo, kada buvo kalba apie masės, arba inercijos, elektromagnetinę kilmę. Maksvelis, paskatintas augščiau nurodytais eksperimentais nustatant santykį tarp elektrostatinių ir elektromagnetinių elektros vienetų, daro išvadą, kad visais tais atvejais, kada elektros kroviny s juda greitėdamas arba su mažėjančiu greičiu, arba kada tas kroviny sustabdomas, arba kada jis, pagaliau, išvedamas iš ramybės stovio, iš jo, kaip iš sąjudžio centro, skleidžiasi erdvėje, medijume, elektromagnetinės bangos koncentrinėmis sferomis, jeigu jos skleidžiasi homogeniniame medijume (bangos vadinamos elektromagnetinėmis todėl, kad tokiais atvejais skleidžiasi erdvėje du sąjudžiai: magnetinis ir elektros). Duoti aiškesniam Maksvelio elektromagnetinės teorijos vaizdui, pasinaudosime pažįstamu jau mums neigiamos elektros atomu, elektronu. Iš jo paviršio į visas puses skleidžiasi Faradejo jėgų vamzdeliai, spindulių pavidalu. Galima sau įsivaizdinti, kad prasidėję ant elektrono tie jėgų vamzdeliai baigiasi erdvėje begaliniame atokume nuo elektrono. Tegu toksai elektronas slenka erdvėje vienodu greičiu (žiūr. 6 pieš. A). Mes žinome,



kad tie jėgų vamzdeliai, kurie apie elektroną sudaro Faradejo jėgų lauką, turi masę, arba, kitaip sakant, reiškia inerciją. Jeigu dabar koki nors jėga staiga sustabdo elektroną, tai bus sustabdytos ir jėgų vamzdelių dalys, artimiausios nuo elektrono, sakysime, bus sustabdyti jėgų vamzdelių galai, kuriais tie vamzdeliai prijungti prie elektrono. Jau mes žinome, kad Faradejo jėgų vamzdeliai yra panašūs į elastingus ištemptus šniūrus. Jeigu staiga išjudinti vieną galą ištempto elastingo šniūro, tai, kaip mes žinome, tas sąjudis skleisis per visą šniūrą, bet praslinks tam tikras laikas, kol tas sąjudis paseiks kitą šniūro galą. Mes žinome, kad greitumas, kuriuo skleidžiasi sąjudis, arba skersos bangos, per lankstų šniūrą yra lygus $\sqrt{\frac{T}{m}}$.

Čia T reiškia šniūro įtempimą ir m jo ilgio vieneto masę. Panašų dalykų stovį mes turime ir Faradejo jėgų vamzdeliuose. Bet kuris sąjudis skleidžiasi išilgai šitų vamzdelių tam tikru greičiu, kuris, tiesa, yra labai didelis. Maksvelis, remdamasis elektrinėmis ir magnetinėmis konstantomis, analogingomis lankstaus šniūro įtempimui ir jo masingumui, būtent, remdamasis elektros indukcijos talpumu, arba dielektrine konstanta, kurios atvirkščiam dydžiui Maksvelis prilygina Faradejo vamzdelių įtempimą, ir re-

miantis magnetiniu pralaidumu, kurį Maksvelis prilygina Faradejo vamzdelių masingumui,—jis nustato tokią formulą sąjudžio greiŭtumi medijume, kuriame skleidŭiasi elektromagnetinės bangos: $V = \sqrt{\frac{1}{\mu k}}$. Čia k reiškia elek-

tros indukcijos talpumą, arba dielektrinę konstantą, o μ reiškia magnetinį pralaidumą. Šitie du dydŭiai nustatyti kai kurioms medŭiagoms ir, vadinasi, remiantis tais dydŭiais galima suskaičiuoti bangų greiŭtumą. Gaunamas šviesos greiŭtumas, būtent, $3 \cdot 10^{10}$ cm. (300000 kilometrų) per sekundą.

Grįŭšime dabar prie staiga sustabdyto elektrono (ŭiūr. 6 pieš. B). Tegu tam tikru, labai trumpu laiku bus sustabdyta dalis jėgų vamzdelio CP. Bet kita dalis to jėgų vamzdelio per tą patį laiką pasislinks pirmyn tuo greiŭtumu, kurį turėjo elektronas, taip kad jėgų vamzdelis P vietoje pasidarys įlenktas. PP' bus tas atokumas, kuriuo pasislinks, sakysime, viršutinė jėgų vamzdelio dalis per tą laiką, per kurį bus sustabdyta apatinė dalis CP. Aišku, kad susidaręs tokiu būdu įlenkimas skleisis erdvėje šviesos greiŭtumu.

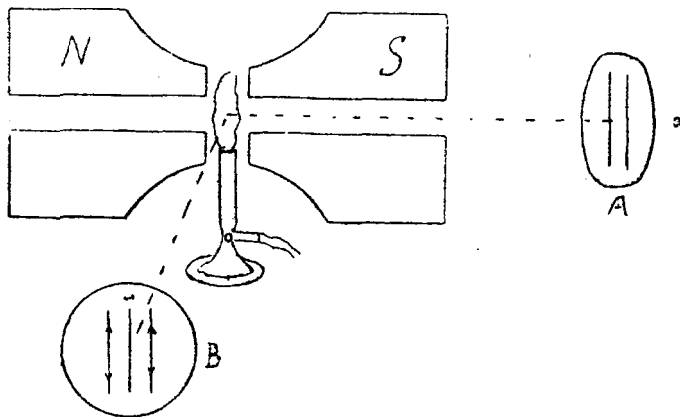
Įlenkta jėgų vamzdelio dalis slenka statmenai vamzdelio ilgiui. Taigi, išeinant iš augščiau išdėstytų principų, ji sudaro medijume magnetinį lauką, kuris irgi skleidŭiasi erdvėje tuo pačiu greiŭtumu, kaip ir vamzdelio įlenkimas. Kas čia pasakyta apie vieną jėgų vamzdelį, liečia ir visus kitus elektrono jėgų vamzdelius. Jų visų įlinkimai sudaro kaip ir sąjudžio sluogsnį, arba sferą, kuri ir skleidŭiasi erdvėje, plėsdamosi vis labiau ir labiau, nelyginant, kaip sferinė banga. Taigi, mes čia turėsime skleidimasi elektriško sąjudžio išilgai spindulių ir tuo pačiu laiku skleidimasi vamzdelių įlenkimo, arba magnetinio sąjudžio, statmenai spinduliams. Tai ŭtai toksai dvigubas sąjudis, sklaiddamasi erdvėje, ir sudaro elektromagnetinę bangą.

Bet tokiu atveju, kada elektronas staiga sustabdomas arba sutrukdomas savo judėjime, mes gauname tik vieną vienintėlę elektromagnetinę bangą, vadinama pulsu, kurios ilgis yra lygus atokumui, per kurį nuvyks toliau sąjudis per tą laiką, kuris yra reikalingas elektrono sustabdymui. Tokie pulsai, arba viengungios bangos, tarp kito ko ir susidaro tada, kada katodo dalelės, vadinasi elektronai, suduoda į stiklą arba į antikatodą Krukso vamzdyje. Tada iš tų vietų išeina pulsai, kuriuos mes vadiname Rentgeno, arba X-spinduliais.

Bet užuot staiga sustabdyti elektroną arba staiga sutrukdyti jį jo judėjime, koks nors veiksnys gali priversti ŭitą elektroną svyruoti arba virsti. Tada Faradejo jėgų vamzdeliuose, sujungtuose su elektronu, susidarys ištisos serijos bangų, nelyginant kaip lanksčiame ŭniūre, kurio vienas galas pririŭštas prie sienos ir kurio kitam galui mes suteikiame taisyklingus svyravimus, sakysime augštyn—žemyn. Taigi, iš vibruojančio elektrono, kaip iš sąjudžio centro, skleidŭiasi į visas puses erdvėje elektromagnetinės bangos šviesos greiŭtumu ir tokio dažnumo, kuris yra lygus vibruojančio elektrono dažnumui (skaičiui svyravimų, arba vibracijų, per vieną sekundą). Tų bangų ilgis bus lygus atokumui, kurį nuvyksta sąjudis per tą laiką, per kurį elektronas atlieka vieną savo svyravimą, arba vibraciją. Jeigu tos bangos turi ilgio tarp 0,0008—0,0004 m./m., tai pasiekę mūsų akį jos daro mums šviesos įspūdį ir mes tada jas vadiname šviesa. Ilgesnės bangos veikia kaip ŭilima. Dar ilgesnės, tokios, kurių ilgis dažnai gali pasiekti 1000 kilometrų ir daugiau, yra tos bangos, kurios surištos su elektromagnetiniais fenomenais ir kurios vartojamos radijaus telegrafe (telegrafe be vielų). O trumpesnės bangos, kaip šviesos bangos, yra chemiškai aktingos bangos ir turi didelės reikšmės bijologijos procesuose. X-spinduliai, arba Rentgeno spinduliai, priklauso prie trumpiausių ŭinomų mums bangų. Tai ŭtai

trumpai kalbant ir bus garsios Maksvelio elektromagnetinės šviesos teorijos pagrindai.

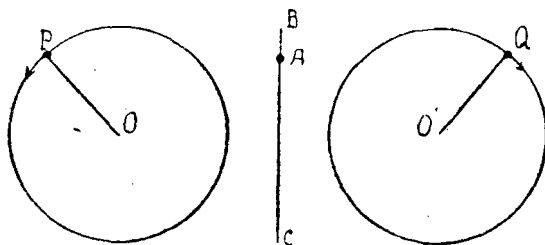
Maksvelio elektromagnetinės šviesos teorija, apamai, turi galvoj elektriškai užtaisytos materijos virpėjimus, arba osciliacijas, kaip šviesos bangų tikrą šaltinį, konstatuodama, kad elektros kroviniai sudaro ryšių tarp materijos ir radiacijos. Bet toje teorijoje nėra kalbos apie elektronus ir jų vibracijas, nes elektronas tuomet dar nebuvo surastas. Reikia tačiau pasakyti, kad dar Faradejas, savo nepaprasta intuicija įspėjęs, kad yra ryšių tarp šviesos ir elektromagnetinių fenomenų, kantriai ir atkakliai ieškojo tų ryšių, atliko šituo žvilgsniu daugybę eksperimentų ir pagaliau aiškiai konstatavo, kad stiprus magnetinis laukas suka poliarizuoto šviesos spindulio plotmę. Taigi, Faradejui pasisekė įrodyti eksperimentu, kad iš tikrųjų veikia ryšiai tarp šviesos ir elektromagnetinių fenomenų ir tokiu būdu paremti elektromagnetinę šviesos teoriją. Bet reikia pripažinti, kad Faradejo konstatuotas fenomenas, būtent, šviesos poliarizacijos plotmės sukimas magnetiniame lauke, yra vienas iš painiausių fenomenų ir šiandien dar nėra pakankamai išaiškintas. Tiktai praslinkus keliasdešimčiai metų po Faradejo mirties, olan-



dų fizikui Zeemanui pasisekė konstatuoti magnetinio lauko veikimą šviesoj tokioj formoj, iš kurios buvo aišku, kad šviesa yra virpančio elektros krovinio padaras ir, būtent, virpančio neigiamo elektros krovinio, arba elektrono. Tai buvo 1896 metais. Tada pirmą sykį buvo konstatuotas labai svarbus fenomenas, kuris žinomas kaip Zeemano efektas ir kuris reiškiasi tuo, kad stipraus magnetinio lauko įtakoje spektrų linijos darosi dvigubos žiūrint į šviesą, kuri duoda tas linijas (kitai sakant, žiūrint per spektroskopą į liepsną arba į Geislerio vamzdį, per kurį eina elektros iškrovimas) išilgai magnetinio lauko jėgų linijų ir darosi trigubos, žiūrint į tą pačią šviesą statmenai magnetinio lauko linijoms. Įdomu, kad šitas fenomenas buvo pramatytas kito didelio olandų fiziko Lorencu, išeinant iš grynai teorinių motyvų ir priimant, kad šviesos bangas sudaro neigiamų elektros krovinių, arba elektronų, virpėjimai. Lorencas tiek aiškiai numatė šitą dalyką ir tiek puikiai jį suprato, kad sužinojus, jog Zeemanui pasisekė stipriu magnetiniu lauku ir geru interferencijos spektroskopu sudvigubinti elementų spektrų linijas, Lorencas patarė jam pažiūrėti į Geislerio vamzdžio šviesą skersai magnetinių jėgų linijų, nurodymas iš anksto, kad tada jis pamatys ne dvi, bet tris linijas (7 piešinys atvaizduoja skiemeniškai Zeemano efektą,

N ir S. yra poliai galingo elektromagneto, perverti išilginiu kanalu. Tarp tų polių liepsna, sakysime, natrio. Žiūrint per spektroskopą išilgai magnetinio lauko, geltona natrio linija pasirodo sudvigubinta, kaip rodo vaizdas A, o žiūrint skersai magnetinio lauko, ta linija pasirodo triguba, kaip rodo vaizdas B). Zeemanas atliko eksperimentą taip, kaip buvo nurodyta Lorencio ir konstatavo tai, kad buvo Lorencio permatytą.

Kadangi Zeemano efektas ir jo pagrindas, duotas Lorencio, turi labai didelės reikšmės ir radiacijai ir aplanai materijos elektrinei struktūrai, tai bus neprošalį išdėstyti čia smulkiau Lorencio protavimus. Imsime, kad elektronas būna elektromagnetinių bangų šaltinis, atlikdamas paprastus harmoningus švytavimus tiesia linija, sakysime išilgai CB, kaip rodo 8 piešinys. Iš dinamikos mes žinome, kad kiekvieną švytavimą tiesia linija mes galime pakeisti dviem judėjimais ratais to paties greitumo arba, kitaip sakant, to paties perijodo, tiksliai priešingomis kryptimis ir atbulai, kad tokių dviejų judėjimų ratais atstojamasai judėjimas bus švytavimas, arba osciliacija, tiesia linija. Taigi, mes neapsilenksime su tikrenybe, jeigu mes vietoj paprasto armoningo švytavimo elektriškai užtaisytų dalelių, painisime dviejų dalelių judėjimus, arba virpėjimus, ratais priešingomis kryptimis taip, kad tie ratai būtų tiesiu kampu magnetinio lauko atžvilgiu ir kad elektriškai užtaisytų dalelių judėjimai, arba virpėjimai, vyktų centrinių jėgų įtakoje (va-



dinasi, jėgų, veikiančių išilgai linijų, jungiančių daleles su ratų centrais). Tokiomis sąlygomis dalelės bus įtakoje mechaninės jėgos, kuri visur bus orientuota statmenai magnetiniam laukui iš vienos pusės ir dalelių judėjimo kryptiai iš kitos pusės. Bet dalelės slenka savo ratais priešingomis kryptimis. Taigi, jeigu jėga, veikianti vieną iš tų dalelių bus atkreipta į centrą, vadinasi, bus įcentrinė, tai jėga, veikianti kitą dalelę bus atkreipta nuo centro, vadinasi bus išcentrinė. Taigi, pirmuoju atveju šita jėga veiks ta pačia prasme kaip ir magnetinė jėga, sustiprins magnetinės jėgos veikimą ir mažins ratą, kuriuo sukasi dalelė, mažinant tokiu būdu dalelės perijodą, arba didinant jos virpėjimų dažnumą (dažnumas yra skaičius sūkių, arba virpėjimų ratu, atliekamų per vieną sekundą). O antruoju atveju ta mechaninė jėga veiks prieš magnetinę jėgą, vadinasi, mažins ją ir todėl mes turėsime rato spindulio padidėjimą arba dalelės perijodo padidėjimą, arba jos dažnumo sumažėjimą. Taigi, veikiant magnetiniam laukui, dalelės nebesuks vienodomis orbitomis ir, vadinasi, nebus to paties dažnumo šviesos ištekliais: viena dalelė bus magnetinio lauko pagreitinta, kita bus to paties lauko greitumo žvilgsniu sulaukyta, taip kad žiūrėdami per spektroskopą mes pamatysime ne vieną liniją tam tikro dažnumo, bet dvi linijas: vieną didesnio dažnumo kaip tos pačios linijos dažnumas paprastomis sąlygomis, kitą mažesnio dažnumo. Taigi, linija bus suskaldyta į dvi, iš kurių viena bus paslinkusi spektre į vyšniavos dalies pusę, kita į raudonos

dalies pusę. Optikos priemonėmis mes visuomet galime atskirti judėjimą iš kairės į dešinę pusę (judėjimą pagal laikrodžio rodyklę) nuo judėjimo iš dešinės į kairę pusę (judėjimą prieš laikrodžio rodyklę). Vadinasi, mes galime visuomet nustatyti, kuris iš dviejų judėjimų buvo pagreitinintas ir kuris buvo sulaukyltas greičio žvilgsniu, veikiant magnetiniam laukui. Kadangi magnetinio lauko veikimas elektriškai teigiamą dalelę bus kaip tiksliai priešingas to paties lauko veikimui elektriškai neigiamą dalelę, tai aišku, kad optika duoda mums galimybes nustatyti, kokios dalelės, ar teigiamos ar neigiamos savo virpėjimais sudaro šviesos bangas. Zeemano efektas duoda į šią klausimą aiškų atsakymą, būtent, kad šviesos bangos sudaromos tiksliai elektriškai neigiamų dalelių, arba elektronų, virpėjimų. Šitas faktas randa rimtos paramos šviesos dispersijoje, metalų elektros laidume, fotoelektros fenomenuose ir k. Be to, Zeemano efektas duoda galimybes suskaičiuoti santykį e/m ir tasai santykis aiškiai rodo, kad mes čia turime darbo su neigiamai įelektrinta dalele, arba elektronu.

Grįžtant prie 8 piešinio ir sekant dviejų įelektrintų dalelių judėjimus ratais to paties perijodo, bet priešingomis kryptimis, suskaičiuosime jėgas, kurioms veikiant vyksta dalelių virpėjimas. Mechaniška jėga, veikianti elektroną, yra lygi $H e v$. Čia H reiškia magnetinio lauko stiprumą, e —elektrono krovinį ir v —elektrono greitumą slenkant jam ratu. Kadangi šitas judėjimas yra paprastas armoningas judėjimas, tai jėga f , kuri palaiko judėjimą dalelės ratu, neveikiant magnetiniam laukui, čia visą laiką yra proporcinga dalelės atsilenkimui nuo pusiausviros, arba nulinės padėties, ir visą laiką atkreipta į dalelės pusiausviros padėtį. Taigi, mes turime $f = k r$. Čia r reiškia rato spindulį, o k proporcingumo veiksnį.

Antra vertus, dalelė, kuri sukasi ratu greičiu v ir turi masę m , veikia išcentrinė jėga $= \frac{m v^2}{r}$. Šita išcentrinė jėga, kol dalelė pasilieka rato periferijoje, yra lygi augščiau nurodytai jėgai, kuri palaiko paprastą armoningą judėjimą. Taigi $kr = \frac{m v^2}{r}$ arba $k = \frac{m v^2}{r^2} = \frac{4 \pi^2 m}{T^2}$, nes judėjimo ratu greičiumas $v = \frac{2 \pi r}{T}$, kur T reiškia judėjimo perijodą.

Veikiant magnetiniam laukui, kaip jau mes matėme, pasikeis perijodai dalelių, judančių ratais priešingomis kryptimis, pasikeis ir jų greičiai, nes vieno rato apskritimas bus sumažintas, kito padidintas. Tegu veikiant magnetiniam laukui greičiumas, rato spindulys ir perijodas vienos dalelės iš eilės bus v_1 , r_1 , T_1 , o kitos dalelės v_2 , r_2 , T_2 . Veikiant magnetiniam laukui mechaniškas to lauko veikimas, kaip jau mes matėme, vienu atveju prisidės prie jėgos, palaikančios paprastą armoningą virpėjimą, o kitu atveju veiks prieš šią jėgą. Taigi, vienu atveju išcentrinė jėga bus kompensuota augščiau nurodytų dviejų jėgų suma, o kitu atveju tų jėgų skirtumu. Todėl mes turėsime:

$$\frac{m v_1^2}{r_1} = kr + H e v_1 \quad \text{ir} \quad \frac{m v_2^2}{r_2} = kr - H e v_2.$$

Pakeitę abiejose lygtyse K jam lygiu dydžiu $\frac{4 \pi^2 m}{T^2}$, pirmoje lygtyje v_1 dydžiu $\frac{4 \pi^2 r_1^2}{T_1^2}$, o antroje lygtyje v_2 dydžiu $\frac{4 \pi^2 r_2^2}{T_2^2}$ ir sutraukę mes gausime tokias dvi lygtis:

$$\frac{4 \pi^2 m}{T_1^2} = \frac{4 \pi^2 m}{T^2} + H e \frac{2 \pi}{T_1} \quad \text{ir} \quad \frac{4 \pi^2 m}{T_2^2} = \frac{4 \pi^2 m}{T^2} - H e \frac{2 \pi}{T_2}.$$

Atėmę nuo pirmos lygties antrąją, gausime:

$$4 \pi^2 m \left\{ \frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right\} = 2 \pi \cdot H e \left\{ \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right\},$$

$$\text{arba } 2 \pi m \left\{ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right\} = H \cdot e. \text{ Iš čia eina } \frac{e}{m} = \frac{2 \pi}{H} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}.$$

Kadangi magnetinis laukas sudaro vis delto nedidelį periodų skirtumą, tai mes galime imti, kad $T_0^2 = T_1 T_2$, ir tada turėsime: $\frac{e}{m} = \frac{2 \pi}{H} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_0^2}$. Pažymėsime spektro linijos bangų ilgį, neveikiant magnetiniam laukui, raide λ_0 , o veikiant magnetiniam laukui didesnio periodo bangos ilgį raide λ_c , o trumpesnio periodo raide λ_a . Kadangi apłamai $\lambda = VT$, kur V reiškia šviesos greitumą, o T šviesos bangos periodą, tai augščiau duota lygtis virsta tokia:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \pi}{H} \cdot \frac{\frac{\lambda_c}{V} - \frac{\lambda_a}{V}}{\frac{\lambda_0^2}{V^2}} = \frac{2 \pi}{H} \cdot \frac{\lambda_c - \lambda_a}{\lambda_0^2} \cdot V.$$

Taigi, Zeemano efektas duoda iš tikrųjų galimybės suskaityti žinomą jau mums santykį e/m arba atvirkščią jam dydį m/e —santykis tarp elektrono masės ir jo elektros krovinio. Rungė ir Paschen'as, du vokiečių tyrinėtojai, tiesioginiais bandymais nustatė charakteringai žaliai gyvojo sėdabro linijai santykį $\frac{\lambda_c - \lambda_a}{\lambda_0^2} = 2,14$, veikiant magnetiniu lauku 24.600 vienetų stiprumo. Taigi, iš Rungės ir Pašeno tēmijimų eina, kad

$$\frac{e}{m} = \frac{2,14 \cdot 2 \pi \cdot 3 \cdot 10^{10}}{24.600}, \text{ arba } 1,65 \cdot 10^7.$$

Iš ankščiau aprašytų Tomsono eksperimentų eina, kad santykis tarp elektrono masės ir jo krovinio $m/e = 5,65 \cdot 10^{-8}$ arba $\frac{e}{m} = \frac{1}{5,65} \cdot 10^8 = 1,77 \cdot 10^7$.

Imant domėn, kad skilimas linijos į dvi, veikiant net stipriausiems magnetiniams laukams, perskiria tas linijas labai mažu atokumu nuo viena kitos, reikia pripažinti, kad skirtumas tarp e/m , suskaitant šitą dydį iš Zeemano efekto ir nustatant jį Tomsono eksperimentais, atlenkiant katodo spindulius magnetiniu ir elektrostatiu laukais, yra tiek mažas, kad mes galime priimti vienos rūšies eksperimento vaisius kaip patvirtintus eksperimentais visiškai kitos rūšies. Taigi suprantama, kad Lorencio protavimai ir Zeemano eksperimentas turėjo radijacijos teorijai ir materijos elektrinės struktūros hipotezei ne mažesnės reikšmės, kaip elektrono suradimas. Įdomu, kad elektrono suradimas ir Zeemano efektas pasirodė taiš pačiais metais, būtent, 1896 metais. Todel šiandien fizikų tarpe nėra abejonių del to, kuri atomo dalis yra elektromagnetinių bangų šaltinis. Šiandien galima laikyti faktų, kad elektronas ir jo virpėjimai yra tikras elektromagnetinių bangų šaltinis.

Paaiškinsime čia dar tik, kodel žiūrint skersai magnetinio lauko mes matome tris linijas. Aplamai, mūsų akiai daro įspūdžio tik tokie sviravimai, arba virpėjimai, kurie vyksta statmeniškai spindulio kryptiai. Taigi, žiūrint išilgai magnetinio lauko, mūsų akiai nepadarys įspūdžio virpėjimai elektronų išilgai magnetinių linijų, o įspūdžio padarys tik virpėjimai kitomis dviem statmeniškomis kryptimis, sakysime, skersai lauko ir vertikaliai. O žiūrint skersai lauko, virpėjimai elektronų išilgai magnetinių linijų, kurių periodas bus nepalietas magnetinio lauko, taip pat bus skersas regėjimo linijos atžvilgiu ir todėl mes gausime dar įspūdį trečios linijos, bet to paties periodo, kaip ir linijos neveikiant magnetiniam laukui. Taigi, mes turėsime tris

linijas: vieną tokio perijodo, kaip neveikiant magnetiniam laukui, kitą ilgesnio perijodo, paslinkusią į raudoną spektro pusę ir trečią trumpesnį perijodo, paslinkusią į vyšniavą spektro pusę.

Taigi, Zeemano efektas davė tvirtą pagrindą elementų spektrų teorijai ta prasme, kad daugybė ir įvairenybė spektrų linijų tapo virpančių elektronų padaru ta prasme, kad į elemento spektro linijas buvo žiūrima kaip į įvairius atomo planetinių elektronų virpėjimo būdus. Reikia pasakyti, kad mes čia turime ytin painų ir labai įvairų fenomeną. Priminsime čia, kad nuo Njutono laikų, kuris surado spektrą, buvo surinkta šitoje srityje daugybė medžiagos, ypač XIX šimtmetyje. Be tolydinių spektrų, kuriuos duoda materija kietame ir skystame stovyje augštoje temperatūroje, buvo surasti vadinamieji linijų spektrai, kuriuos duoda materija dujų stovyje augštoje temperatūroje arba kada toji materija būna smarkių elektros išsikrovimų vieta. Šitie linijų spektrai pasirodė charakteringi elementams, taip kad kiekvienas elementas dujų stovyje augštoje temperatūroje arba kada jis tarpininkauja elektros išsikrovimams, duoda visuomet tam tikras linijas, einant kuriomis šitas elementas galima identifikuoti. Todel XIX šimtmečio antroje pusėje išriedėjo spektrinė analizė, kuri ir šiandien chemijoj turi labai platų pritaikinimą. Antra vertus, buvo konstatuota, kad elementai absorbuoja tos pačios rūšies šviesą, vadinasi, tas pačias linijas, kurias jie duoda leisdami energiją. Pagaliau, buvo surasti ir gan smulkiai išnagrinėti vadinamieji serijų spektrai, arba spektrai, sudaryti linijų grupėmis įvairiose spektro vietose. Taip antai, paprasčiausios struktūros atomas, būtent, vandenilio atomas, duoda charakteringų jam linijų grupę matomoje spektro dalyje ir dar dvi linijų grupes nematomose spektro dalyse, būtent ultravyšniavoje dalyje ir infraraudonoje dalyje. Kiti elementai turi tų serijų daugiau ir ypatingai daug jų rodo geležies spektras. Jau mes šio rašinio pradžioje pažymėjome, kad spektrų tyrinėtojai visuomet manė, kad elemento spektras yra artimai susijęs su to elemento atomo struktūra ir kad elementų atomai yra sudėtiniai padarai, sudaryti dar mažesnėmis ir paprastesnės struktūros dalelėmis.

Toki fizikų spektroskopistų spėjimai rado tvirtą pamatą tame fakte, kad ne tik kiekviena elemento spektro linijų serija gali būti išreikšta tam tikra lygtimi ta prasme, kad, pakeisdami toje lygtyje tam tikrą mainų dydį sveikais skaičiais, mes gausime iš eilės visas serijos linijas, bet ir tame fakte, kad visoms elemento spektro serijoms ir net visiems elementams veikia tos pačios formos lygtis. Pirmutinis šveicaras Balmer'is duoda tokią gryną empirinę lygtį vandenilio matomajai spektro daliai. Balmerio lygtis, arba formula, atrodo taip: $n = A \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right)$. Čia n reiškia linijos dažnumą, m reiškia tam tikrą mainų dydį ir A konstatą, charakteringą vandeniliui. Pakeisdami šitoje lygtyje mainų dydį iš eilės sveikais skaičiais 3,4,5, mes gausime dažnumus trijų vandenilio charakteringų linijų matomoje spektro dalyje, būtent: raudonos, mėlynos ir vyšniavos. Kiek vėliau danas Rydberg'as apibendrino Balmerio empirinę formulą ir davė lygtį, kuri veikia visoms linijų serijoms ir visiems elementams. Rydbergo lygtis atrodo taip: $n = n_0 - \frac{N}{(m + \mu)^2}$. Čia n reiškia spektro linijų dažnumą ir m mainų dydį, pakeičiant kurį iš eilės sveikais skaičiais 1,2,3, gaunama tos ar kitos serijos linijos. N reiškia tam tikrą konstantą, bendrą visiems elementams; n_0 ir μ yra dvi konstantos, charakteringos atskiriems elementams. Iš šitų lygčių išeina visų pirma didelis panašumas tarp tos pačios serijos linijų. Negali būti abejonės, kad čia mes turime tos pačios sistemos įvairius virpėjimo būdus ir

savaimi veržiasi į galvą analogija tarp pagrindinio tono ir jo „harmonikų“ akustikoje ir tarp pagrindinės linijos bei kitų tos pačios serijos linijų. Bet akustikoje tarp „harmonikų“ veikia paprastesni santykiai, kurie gali būti išreikšti tokia paprasta lygtimi: $n = n_0 m$. Čia n_0 reiškia pagrindinio tono dažnumą (tai bus kaip ir serijos konstanta), n reiškia to ar kito harmoniko dažnumą, o m yra mainus dydis, pakeičiamas iš eilės sveikais skaičiais 1,2,3, ir t.t. Taigi, santykiai tarp serijos linijų yra painesni ir primena greičiau santykius tarp pagrindinio tono ir obertonų akustikoje. Taip virpančios plokštelės obertonų dažnumai santykiauja kaip eilės sveikų skaičių kvadratai. Kitoms akustikos sistemoms tie santykiai būna dar painesni ir, pavyzdžiui, šiandien dar nenustatyti varpo pagrindinio tono ir obertonų santykiai. Bet juo painesnė darosi sistema, juo didesnės reikšmės įgyja jos obertonai. Šita išvada liečia ir atomo virpėjimus. Kad augščiau duotą empirinę tų virpėjimų lygtis nėra pripuolamas dalykas ir grynai matematikos fikcija, išeina visų pirma, iš to kad visos tos pačios serijos linijos reiškia didelį panašumą. Taip, jos visos atrodo arba vienodai aiškios su griežtais rubežiais arba jos visos vienodai neaiškios ir paplitusios. Niekuomet toje pačioje serijoje nepastebima greta tų dviejų skirtingų tipų linijų. Pagaliau, kiekviena atmaina, kuri liečia vieną iš serijos linijų, vienodai liečia ir visas kitas tos serijos linijas. Taip antai, visos linijos vienodai skaldosi į dvi arba tris, paveikus stipriu magnetiniu lauku. Visos linijos vienodai darosi platesnės, padidėjus spaudimui dujų, kurių spektras sekamas. Bet maža to. Ne tik spektrai atskiro elemento reiškia augščiau nurodytus santykius. Tuos pačius santykius galima konstatuoti tarp spektrų atskirų elementų, priklausančių tai pačiai perijodinės sistemos grupei. Taip antai, spektrai pirmos grupės elementų (šarminių metalų) tiek yra panašūs į vienas kitą ir tiek artimai surišti su vienas kitu, kad, sakysime, išeinant iš kalio spektro galima iš anksto suskaičiuot rubidžio arba cezio spektrų linijas, remiantis tų trijų elementų reliatyviais atominiais svoriais. Šitas faktas versta verčia daryti išvadą, kad virpančios sistemos šitų trijų elementų yra vienodos ir veikia tik skirtingose apystovose. Konkrečiai kalbant, planetinių elektronų grandys tiems trimis elementams yra tos pačios, bet tos grandys yra įtakoje nevienodų jėgų, nes rubidžio ir cezio branduolių kroviniai bei masės yra didesnės kaip kalio branduolio krovinys bei masė ir todėl rubidis ir cезis turi dar priedinius elektronus ir kaipo išdava viso to reiškia spektro panašumą į kalio spektrą tik su tuo skirtumu, kad rubidžio ir cezio spektrai yra smarkiau paslinkę į vyšniavą pusę (į didesnių dažnumų pusę). Reikia tačiau atsiminti, kad kai kurių elementų spektrai, kaip, pavyzdžiui, geležies spektrai, yra labai painūs ir charakterizuojasi šimtais aiškiai apibrėžtų linijų, tuomet kai skaičius elektronų atome yra, sulyginti, nedidelis (didžiausį skaičių elektronų, būtent 92 elektronus, turi sunkiausias elementas uranas, kaip jau mes matėme anksčiau). Be to, vandenilis, kaip mes žinome, turi tik vieną elektroną ir tasai jo elektronas turi tik tris laisvės laipsnius (gali virpėti trimis pagrindinėmis kryptimis), vadinasi, gali reikšti tik trejopą virpėjimo būdą, kuris kalbamui atveju bus taip pat vienodas. Todėl vandenilis turėtų charakterizuotis tik viena linija. O iš tikrųjų mes žinome, kad vandenilio spektras susideda iš visos eilės linijų ir kai kuriomis ypatingomis sąlygomis tasai spektras būna gan painus. Šita sunkenybė, turint vieną ar net ir keletą planetinių elektronų, išaiškinti didelę įvairenybę ir didelį spektrų painumą, privertė J. J. Tomsoną pareikšti hipotezę, kad vandenilio ir kitų elementų spektrai duodami ne tų elementų atomų, bet tam tikrų sistemų, kurios veikia atomuose, kada tie atomai arba aplamai elementai dujų stovy įgyja va-

dinamąją šviesos arba radijacijos būvį įtakoje tų ar kitų išorinių veiksnių. Šita Tomsono hipotezė atrodo gan drąsi, jeigu priimti domėn pilną identišumą to paties elemento spektrų, ar mes seksime jo spektrą ant žemės ar ant tos ar kitos žvaigždės erdvės bedugnėje. Bet reikia pasakyti, kad yra faktų, kurie paremia šitą Tomsono mintį, o ypač, sulyginti, neseniai atlikti L a d e n b u r g ' o bandymai su vandenilio absorbcijos spektrais. Mes jau paminėjome ankščiau, kad elementai absorbuoja tos pačios rūšies šviesą, tas pačias linijas, kurias jie leidžia. Bet pasirodo, kad vandenilis paprastomis sąlygomis nereiškia jokių absorbcijos linijų. Kitaip sakant, leidžiant per vandenilį prie paprasto spaudimo arba net ir praskiestame stovyje šviesą, spektre nematyti tamsių linijų (Fraunhoferio linijų) tose vietose, kur, paprastai, pasirodo charakteringos vandenilio linijos. Bet jeigu per vandenilį prie paprasto spaudimo arba praskiestame stovyje eina, sakysime, elektros išsikrovimas, tai leidžiant per jį šviesą jo spektre tuojau pasirodo absorbcijos linijos. Taigi išeina, kad vandenilio spektras sudaromas elektronų sistemomis, kurių visiškai nėra normalinėmis sąlygomis, bet kurios atsiranda tuojau kaip tik vandenilis tais ar kitais išoriniais veiksniais pereina į vadinamąją šviesos, arba radijacijos, stovį.

Kalbant apie sąlygas, kuriomis elementas gali būti tokiam šviesos, arba radijacijos stovyje, reikia pasakyti, kad visa eilė eksperimentų neabejotinai veda prie išvados, kad tokiam stovy elementai arba jų atomai būna tada, kada jie randasi intensyvios jonizacijos arba rekombinacijos srityje. Tada elementai arba atomai duoda charakteringus jiems spektrus ir absorbuoja tas pačias spektro linijas, kurias jie leidžia. Taigi, išeina, kad tiksliai išmetimas elektrono iš atomo arba elektrono įsiveržimas į atomą gali priversti virpėti tas elektronų sistemas, nuo kurių pareina spektro fenomenas. Aišku, kad tokias sąlygas mes turėsime tada, kada mes iškrauname elektrą kibirkšties pavidalu tarp dviejų elektrodų iš bandomojo elemento, arba kada mes iškrauname elektrą per šitą elementą dujų stovyje prie žemo spaudimo. Vienu ir kitu atveju mes kaip tiksliai įvarome elementą į intensyvios jonizacijos ir rekombinacijos sritį. Suprantama, kad tokios pat reikšmės turi ir augšta temperatūra, sakysime, Bunzeno liepsnos temperatūra, nes tokia liepsna, ypač jeigu joje randasi tos ar kitos druskos garai, yra intensyvios jonizacijos vieta.

Pažvelgsime dabar, kas atsitiks atomo sistemoje, jeigu atomas pateks į jonizacijos sritį. Jonizuojantis veiksnys (ar tai elektros srovė, ar tai šilimos veiksnys) gali išmušti elektroną iš atomo, palikdamos atomą su teigiamu kroviniu. Nustojus elektrono, santykis tarp veikiančių jėgų atome pasikeis ir likusieji elektronai bus išjudinti ir ims svyruoti apie naujas savo pusiausvyros padėtis kol galutinai nusistos šitose naujose pusiausvyros padėtyse. Vienu žodžiu, įvyks savo rūšies perversmas arba revoliucija atome ir kol tęsis šitas perversmas, likusieji elektronai virpės ir taps radijacijos šviesos šaltinių, duodami visą eilę linijų spektre. Bet teigiamai užtaisytas atomas randasi jonizacijos srityje, vadinasi, jis kaip ir apsuptas elektronų spiečiaus. Atomas traukia tuos elektronus prie savęs ir todėl pigiai atsitiks, kad vienas iš tų elektronų įsiverš į atomą, užimdamas išmesto elektrono vietą. Šitas elektrono įsiveržimas sukels naują perversmą, nes vėl pakeis jau nusistovėjusias atomo jėgas. Taigi, vėl elektronų sistemos ims smarkiai virpėti apie tam tikras pusiausvyros padėtis, kol pagaliau aprims šitose padėtyse. Iš atomo vėl išeis visa eilė tam tikro periodo arba tam tikro dažnumo elektromagnetinių bangų. Bet tasai dažnumas skirsis nuo bangų dažnumo, kurios susidaro išmetant iš atomo vieną elektroną, nes elektronui įsiveržiant

į atomą, visas atomo elektros krovinyss padidės. Taigi, virpant atomo elektronams, mes pastebėsime spektre visą eilę linijų, dalinai sudarytų elektronų išjudinimu pašalinus vieną elektroną, dalinai elektronui grįžtant (dalinai atomo jonizacija, dalinai atomo rekombinacija). Bet aprašytu čia būdu negalima išaiškinti vandenilio spektro. Vandenilis turi tik vieną elektroną. Taigi, ionizuojant vandenilio atomą, iš jo bus pašalintas tasai elektronas ir nieko nebeliks jo atome kas galėtų virpėti. Antra vertus, rekombinacijos fazėje sugrįžęs elektronas gali duoti tik vieną liniją. Tuo tarpu mes žinome, kad vandenilio spektras charakterizuojausi ne tik eile linijų matomoje spektro dalyje, bet ir dviemis serijomis nematomoje dalyje.

Jeigu vandenilio atomas randasi elektronų srityje, tai vienas iš tų elektronų gali prisitarti prie branduolio tiek, kad ims suktis apie šitą branduolį, kaip iš erdvės bedugnės prisitartinęs prie saulės koks nors kūnas. Jeigu tik traukiamas branduolio kūnas prisitartina prie to branduolio turėdamas tam tikrą, gan didelį, greitumą, tai, einant paprastais mechaniskais protavimais, pritrauktas kūnas būtinai ims suktis aplink branduolį, taip, kaip, sakysime, žemė sukasi aplink saulę ir del tų pačių priežasčių. Elektrono sūkiai apie vandenilio atomo branduolį bus izochroniškai kaip ir žemės sūkiai aplink saulę, ir todėl turėtų charakterizuotis spektre vienintėlė linija.

Bet tuo pačiu laiku einant Maksvelio elektromagnetinės šviesos teorija, sukimasis elektronų aplink branduolį visą laiką sudaro elektromagnetinės bangas erdvėje arba etery, vadinasi, visą laiką leidžia energiją. Taigi, elektrono energija mažėja ir jis ima artintis prie branduolio, sukdamosi aplink branduolį vis mažesnėmis ir mažesnėmis orbitomis, vadinasi vis trumpesniu ir trumpesniu periodu. Kadangi sudaromos elektrono energijos bangos turi tą patį periodą arba tą patį dažnumą kaip ir elektronas, tai, einant Maksvelio teorija, vandenilio spektras turėtų būti tolydinis, apimamas visus dažnumus, nes mažėjant elektrono energijai jis sudarys vis augštesnio ir augštesnio dažnumo bangas, kol pasieks pusiausvyros padėtį arba kol parims. O iš tikrųjų, kaip mes žinome, vandenilis duoda linijų spektrą. Kad išeitum iš šitos sunkenybės, reikia priimti vienas iš dviejų: arba kad jėga veikianti tarp elektrono ir branduolio yra tokia atokumo funkcija, kad ta jėga tam tikram atokume veiks kaipo atsparos jėga, o kitam atokume kaipo traukos jėga, taip kad gali būti tokia padėtis, kurioje traukos ir atsparos jėgos kompensuotos ir elektronas yra parimęs, arba priimant, kad toji elektriška jėga, veikianti tarp elektrono ir branduolio atokume nemažesniame kaip 10^{-12} cm., visuomet veikia atvirkščiai proporcingai kvadratui atokumo, reikia priimti, kad apie branduolį yra tokių orbitų, kuriose elementas neati-
duoda energijos. Pirmą hipotezę stato J. J. Tomsonas ir duoda net elektriš-
kai jėgai tarp elektrono ir branduolio tokią formulą:

$$F = ee' \left[\frac{1}{r^2} - \frac{b}{r^3} + \frac{c}{r^4} - \frac{d}{r^5} + \dots \right].$$

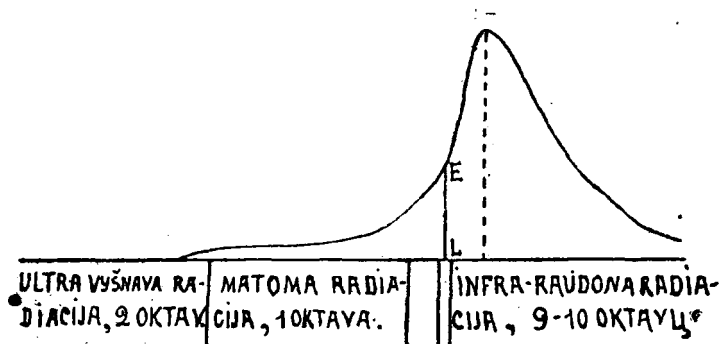
Iš šitos formulos aišku, kad, sulyginti, su branduolio radijum dideliuose atokumuose veikia atvirkščio proporcingumo kvadratui dėsnis, nes prie didelio radijo r visi kiti nariai skliautyse, išėmus tik pirmąjį, atpuola. Bet atokumui r vis labiau ir labiau einant mažyn, reikškinys jėgai priima iš eilės tai neigiamus, tai teigiamus dydžius ir, vadinasi, pereinant nuo teigiamo į neigiamą dydį, bus vietos, kur elektronas nebus nei stumiamas nei traukiamas, o bus pusiausvyros padėtyje. Taigi, einant Tomsono hipoteze, aplink branduolį turėtų susidaryti pusiausvyros sluogsniai, kuriuose elektronas būtų parimęs ir neduotų energijos. Bet iš Ruterfordo bandymų mes žinome, kad ligi atokumų 10^{-12} cm. nuo branduolio elektriskai jėgai veikia atvirkščias

proporcingumo kvadratui bėsnis. Reikia pasakyti, kad ir eilė kitų tyrinėtojų priėjo prie tokios pat išvados. Todel garsus šių dienų Danijos fizikas Nils Bohr'a s stato kitą hipotezę, būtent, jis mano, kad elektronai sukasi aplink branduolius orbitomis, bet kad tų orbitų skaičiuje yra vadinamos statiškos arba pusiausvyros, orbitos, kuriomis elektronas sukasi neduodamas energijos. Šita hipotezė prieštarauja Maksvelio šviesos elektromagnetinės teorijos dėsniams, nes toje teorijoje radijacija yra tolydinis procesas. O Boro hipotezė priima, kad atomo radijacija yra ne tolydinis procesas, o vyksta, taip sakant, porcijomis. Kitame paragrafe mes pamatysime, kad yra daug faktinių davinų, kurie versta verčia priimti, kad atomo mikrokosme radijacija nėra tolydinis procesas ir vyksta tam tikrais kiekiais, kurie visuomet yra tam tikro minimalinio kiekio kartotiniai.

§ 6. Energijos padalinimas juodo kūno spektre. Planck'o energijos padalinimo, arba radijacijos, lygtis ir jo kvantų hipotezė. Santykis tarp elektronų energijos ir jų sudarytų X-spindulių ir atbulai. Santykis tarp energijos ir dažnumo linijų matomoje spektro dalyje. Kvantų hipotezė ir akcijos minimumo principas. Akcijos atomas ir kvantas. Bohr'o postulatų ir jo statiškos orbitos. Statiškų orbitų radijų suskaitymas vandenilio atomui. Vandenilio serijų spektro lygtis. Vienvalentingo helio jono spektras ir jo lygtis. Bohr'o atatinkamybės principas ir sunkesnių elementų statiškos orbitos. Astro-nomiškas chemijos perijodas. Ateities perspektyvos.

Trumpai atkartojant visa tai, kas išdėstyta praeituose paragrafuose, mes galime priimti kaip neprieštaraujančius faktams šiuos dalykus: 1) atomas susideda iš masingo branduolio be galo mažo didumo, kuriame sukoncentruota, galima sakyti, visa atomo masė; 2) branduolio laisvas teigiamas elektros kroviny yra lygus jo atominiam skaičiui, padauginus į elektrono elektros krovinį; 3) vandenilio branduolys, kurio atominis skaičius yra lygus vienetui, sudarytas išimtinai elektros krovinių, arba protonų, o kitų elementų branduoliai sudaryti iš protonų ir tam tikro skaičiaus branduolio elektronų; 4) atomo branduolys apsuptas vadinamais planetiniais elektronais, kurių skaičius taip pat yra lygus atominiam skaičiui ir kurie yra pasidalinę aplink centrinį branduolį koncentrinėmis grandimis, arba sluogsniais; 5) pagaliau elementų spektrai pareina nuo planetinių elektronų virpėjimų ir, be to, dar normaliose sąlygose atome ne visuomet randasi sistema, kurios virpėjimai sudaro atomo spektrą. Visi šitie dalykai yra aiškiai nustatyti bandymais ir dėl jų fizikų tarpe šiandien nėra abejonių. Sunkenybė susidaro tik todėl, kad negali būti elektriškos pusiausvyros tarp parimusių elektronų ir branduolio, jeigu nepriimti, kad visi elektronai bus pritraukti prie branduolio. Bet tokiu atveju nėra jokios galimybės suprasti taip svarbų visokių žvilgsniais gamtos procesą, kaip radijacija. Pusiausvyra tarp elektronų ir branduolio galima lengvai suprasti, jeigu priimti, kad elektronai sukasi apie branduolį orbitomis, nelyginant, kaip planetos sukasi aplink saulę ir iš-einant iš tų pačių dinamikos dėsnių. Bet tada, einant Maksvelio elektromagnetinės šviesos teorija, elektronai visą laiką turi atiduoti energiją, visą laiką turi artintis prie branduolio ir pagaliau turi būti prie jo pritraukti. Be to, tokiu atveju sunku, gan greit negalima, suprasti labai painų serijų spektrų fenomeną.

Su pažymėtomis čia sunkenybėmis fizikai susidūrė jau tada, kada jie ėmė sekti radijacijos ir absorbcijos fenomenus iš kiekybės požiūrio. Mes jau anksčiau paminėjome, kad fizinis kūnas absorbuoja tuos pačius šviesos spindulius arba to paties dažnumo šviesos bangas, kurias jis leidžia, kada jis to ar kito išorės veiksnio įvarytas į šviesos stovį. Tai yra paprastas rezonanso reiškinys. Kaip kiekvieną kūną, kuris gali švytuoti, už vis lengviau priversti švytuoti, suteikiant jam impulsus tokiu taktu, kuris yra lygus jo laisvo švytavimo periodui arba veikiant jį periodine jėga, kurios periodas yra lygus kūno laisvų švytavimų periodui, taip ir atomus galima įvaryti į šviesos stovį, suteikiant jiems impulsus tokio dažnumo, kaip jų virpėjimų dažnumas. Vadinasi, tokio dažnumo impulsus, arba bangas, atomas pilnai absorbuos ir už vis greičiau ir už vis smarkiau į juos atsilieps, ims, taip sakant, rezonuoti leisdamas pats tokio pat dažnumo bangas. Kadangi iš to, kas augščiau išdėstyta, eina, kad tos šviesos arba energijos bangos, kurias leidžia atomas arba kurias jis absorbuoja yra tampriai surištos su jo struktūra, tai suprantama, kad jau nuo seno fizikai veikiai sekė elementų emisijos ir absorbcijos spektrus, remdamiesi savo tyrinėjimuose energijos išlaikymo dėsniu. Tarp kito ko ir teorišku ir praktišku žvilgsniu, ypač turint galvoj ir šiandien dar labai neracionalų energijos naudojimą apšvietimui, fizikai statė sau uždavinį nustatyti visą spektro energiją ir išreikšti tam tikra matematikos lygtimi energijos padalinimą įvairiose spektro dalyse. Vienu žodžiu, jie ieškojo vadinamos radijacijos lygties. 9 piešinys grafiškai atvaizduoja energijos padalinimą vadinamo juodo kūno spektre. Tamsios spalvos, juodi kūnai, charakterizuojasi tuom, kad jie absorbuoja visus spindulius, visokio dažnumo šviesos bangas. Už tat įkaitinti iki augštos temperatūros jie leidžia visokius spindulius arba visokio dažnumo šviesos bangas. Bet paprastomis sąlygomis visgi nėra tiek juodų kūnų, kurie absorbuotų arba leistų visus, be išimties, spindulius. Todel fizikai savo tyrinėjimuose priversti buvo sudaryti sau dirbtinai tokį „absoliučiai juodą kūną“;—tai yra nedidelė erdvės dalis, arba mažutė kamarėlė, apklotą gerai izoliuojančia medžiaga, o viduj išklota veidrodiniais paviršiais iš tokios medžiagos, kuri gali išlaikyti augštą temperatūrą netirpdama. Augšta temperatūra tokios kamarėlės sudaroma kaitinant ją elektra. Šilimos ir šviesos spinduliai, atsimušdami nuo kamarėlės vidurinių sienų, pasilieka kamarėlėje. Kamarėlės temperatūrą galima sekti bolometru (elektros varžos termometras), o spektrą ir jo atmainas, kylant temperatūrai,—spektrofotometru, pastatčius spektrofotometrą ties nedideli kamarėlės skylė arba langeliu. Panašiomis priemonėmis fizikams pasisėkė gauti spektrus, apimančius daug didesnes dažnumo ribas, kaip vartojant paprastus juodus kūnus prie augštų temperatūrų. Taigi, tokia sistema fizikoje vadinasi pilnos radijacijos sistema arba juodo kūno radijacija, nors ir čia reikia pripažinti, kad radijacijos ribos, ypač mažesnių dažnumų arba ilgesnių bangų, nematomoje spektro dalyje dar neįžvelgtos. Kaip panašių tyrinėjimų išdavą mes turime grafišką energijos padalinimo vaizdą, kurį duoda 9 piešinys. Čia išilgai abscisos atidėti bangų ilgiai, pradedant nuo trumpiausių ultravyšniavų bangų iš kairės pusės ir baigiant ilgomis bangomis tamsių, arba šilimos spindulių infraraudonoje spektro dalyje. Išilgai ordinatų atidėta energija, atatinanti tam tikro ilgio arba tam tikro dažnumo bangoms. Priminsime čia tik, kad žinant kūno temperatūrą, kurio spektras sekamas, ir spektrofotometru išmatavus tos ar kitos spektro linijos skaidrumą arba šviesos stiprumą, galima tiksliai suskaityti tos linijos energija. Iš 9-jo piešinio matyti, kad susektoji juodo kūno radijacija apima ultravyšniavoje nematomoje dalyje (chemiškai



aktingi spinduliai) bangos ilgius nuo $0,1 \mu$ — $0,4 \mu^1$), vadinasi, dvi oktavas. Matomoji spektro dalis apima bangos ilgius $0,4 \mu$ — $0,8 \mu$ —vadinasi, vieną oktavą. Pagaliau, infraraudonoji spektro dalis apima bangos ilgius $0,8 \mu$ — 300μ , vadinasi, iš viso apie 10 oktavų. Tai bus tamsūs šilimos spinduliai. Ilgesnės bangos jau bus vadinamos Hertz'o bangos, kurios vartojamos bevieliam telegrafe. Taigi, iš 9-jo piešinio diagramos mes aiškiai matome, kad didelio ilgio bangos arba kitaip sakant mažo dažnumo bangos turi labai mažą energijos. Augant dažnumui (arba trumpėjant bangų ilgiams) radijacijos energija auga ir pasiekia maksimumą prie tam tikro bangos ilgio. Paskui, augant dažnumui toliau, energija vėl puola, taip kad labai didelio dažnumo bangos (labai trumpos bangos) turi taip pat mažą energijos. Tai va čia nupieštoji energijos padalinimo kreivoji sudarė daug vargo fizikams ir privertė juos smarkiai prakaituoti ieškant tai kreivajai linijai lygties. Tokie dideli fizikai, kaip lordas Rayleigh, Boltzman'as ir kiti ieškojo lygties, išeidami iš Maksvelio lygaus energijos padalinimo dėsnio tarp įvairių sistemos laisvės laipsnių. Kad suprastum, apie kokius čia laisvės laipsnius kalbama, įsivaizduokite sau inde uždarytas vienatomines dujas, pavyzdžiui, helį (dujas, kurių molekulos susideda iš vieno atomo). Tokių molekulių judėjimai galima sekti trimis pagrindinėmis linkmėmis statmenai viena kitai. Kadangi tarp tokių molekulių neveikia kohezijos jėgos, tai mes čia turėsime tris laisvės laipsnius. Bet jeigu mes paimsime tokias dujas, kaip vandenilis arba deguonis, kurių molekulos susideda iš dviejų atomų, tai, be molekulių judėjimo trimis pagrindinėmis linkmėmis, mums čia teks dar skaičiuoti su atomų judėjimais, arba virpėjimais molekulose, arba, kitaip sakant, su tų atomų potencinės energijos kitėjimais, kurie kitėjimai taip pat gali būti išskaidyti trimis pagrindinėmis kryptimis. Taigi, tokiu atveju jau mes turėsime 6 laisvės laipsnius. Iš to, kas čia pasakyta, aišku, kad juo labiau bus komplikauta sistema, juo daugiau bus tokių laisvės laipsnių. Taigi, kalbant apie energijos padalinimą dujose, kurios yra pusiausvyros stovyje, Maksvelis ir konstatuoja, kad visa energija vienodai padalinta tarp įvairių laisvės laipsnių. Buvo spėjama, kad toksai pat energijos padalinimas veikia ir radijacijos srityje. Bet augščiau paminėtų fizikų nustatytos lygtys, išeinant iš Maksvelio dėsnio, apsilenkė su tikru energijos padalinimu, kaip jį, atvaizduoja 9-jo piešinio diagrama.

¹⁾ $\mu = 1$ mikronas = $\frac{1}{1000}$ milimetro.

Šituo klausimu energijos padalinimo juodo kūno spektre užsiėmė ir pagarsėjęs Vokietijos fizikas, Berlyno universiteto teoriškos (matematiškos) fizikos profesorius **M a k s a s P l a n c k' a s** ir kaip vaisių savo teoriškų tyrimų paskelbė 1900 metais vadinamąją **k v a n t ų** hipotezę arba teoriją, kurios pagalba jis sėkmingai išsprendė problemą energijos padalinimo spektre ir davė to padalinimo lygtį, kuri pilnai atitinka tikrenybei

Planko kvantų teorijos pagrindai, trumpai kalbant, yra tokie. Plankas įsivaizduoja sau erdvės dalį, arba augščiau aprašytą kamarelę, kurioje vyksta vadinama juodoji radijacija, apimanti bangas visokių dažnumų, kaip užpildyta linijiniais radijatoriais, arba osciliatoriais, vadinasi, panašiais į Herco elektromagnetinius osciliatorius. Linijiniais tie radijatoriai, arba osciliatoriai, vadinami todėl, kad čia periodiškai judėjimai vyksta tik viena kryptimi, taip sakant, išilgai linijos, kaip elektromagnetiški judėjimai išilgai Herco laidininkų. Jeigu žiūrėt į atomo elektronus kaip į tokius linijinius osciliatorius, tai jiems reikia priskirti du laisvės laipsnių augščiau nurodyta prasme, nes elektronai turi kinetinę ir potencinę energiją ir, vadinasi, jie turi vieną laisvės laipsnį kinetinei energijai ir kitą potencinei energijai. Plankas ima, kad tokių radijatorių, arba osciliatorių, juodo kūno radijacijos kamarelėje yra begalinė daugybė ir kad tie radijatoriai turi įvairių įvairiausių dažnumus, pradedant nuo 0 ligi ∞ , nes juodo kūno spektre reikia priimti dažnumus nuo 0 ligi ∞ . Visi tie radijatoriai, arba osciliatoriai, priima energiją bangų pavidalu nuo juodos radijacijos kamarelės sienų ir nuo vienas kito. Bet kiekvienas radijatorius absorbuoja bangas tik tokio perijodo arba dažnumo, kokį jis pats turi ir atiduoda arba leidžia to paties dažnumo energiją, nelyginant, kaip kamertonas gali absorbuoti tik savo dažnumo bangas arba, kitaip sakant, gali rezonuoti tik į savo dažnumo bangas, duodamas tam tikrą toną. Taikindamas Maksvelio lygaus energijos padalinimo dėsnį tarp įvairių laisvės laipsnių ir imdamas dėsnį, kad kiekvienas radijatorius priima tik savo dažnumo bangas, Plankas iš pradžios gauna tokią lygtį energijos padalinimo juodos radijacijos spektre: $E_d = \frac{d^2}{c^2} k T$. Čia E_d reiškia energiją, atitinkančią tam tikrai spektro linijai, dažnumo d ; c reiškia šviesos greitumą (arba greitumą elektromagnetinių bangų tuštumoje), k reiškia energijos kiekį, kuris prisieina vienam laisvės laipsniui, esant temperatūrai 1° , ir T reiškia absoliutinę juodos radijacijos temperatūrą. Šita Planko išvesta lygtis jau ankščiau buvo nustatyta Rayleigh'o, Jeans'o ir kitų, kaip mūsų jau pažymėta ankščiau. Bet iš šitos lygties eina, kad jeigu radijacijos ir energijos procesai yra tolydiniai procesai, tai, augant dažnumui nuo 0 ligi ∞ , ir energija turi augti nuo 0 ligi ∞ . Bet kreivoji 9-jo piešinio rodo, kad ta energija spektre turi aiškų maksimumą gangreit vidurinėje spektro dalyje. Vadinasi, ta energija yra maža mažiems dažnumams, arba ilgoms bangoms, o augant dažnumams, arba trumpėjant bangoms, ta energija auga pasiekdama maksimumą ir, dažnumas augant toliau, vėl ima mažėti, asimptotiškai artindamasi prie nulio. Taigi, augščiau duota energijos padalinimo lygtis visiškai nesutampa su tuo energijos padalinimu, kurį rodo 9-jo piešinio kreivoji, nupiešta remiantis eksperimento daviniais. Tokio dalykų stovio akyvaizdoje Plankas stato hipotezę, kad atomų radijacijos ir emisijos procesai netolydiški, kad jo linijiniai osciliatoriai, arba radijatoriai, negali absorbuoti ir negali leisti bet kuriuos kiekius energijos, kad jie absorbuoja ir leidžia energiją tam tikromis porcijomis, **k v a n t a i s** (tam tikrais kiekiais), kurie visuomet gali būti išreikšti kaip sveikas skaičius tam tikro pagrindinio arba elemenrinio kiekio, kuriam Plankas duoda ženklą h ir kurį

jis vadina energijos atomu ta pačia prasme, kaip mes kalbame apie materijos atomus. Vienu žodžiu, Plankas priima, kad maina energijos tarp materijos ir eterio vyksta visuomet nemažesniais kiekiais kaip h arba kiekiais $n h$, kur n yra bet kuris sveikasis skaičius. Šitas energijos kiekis yra proporcingas energijos bangų dažnumui ir Planko konstantai h , taip kad mes kiekvienam radijatoriui turime santykį $E_a = dh$. Čia vėl E_a reiškia bangų dažnumo d energiją. Dydį $d h$ Plankas ir vadina kvantu. Taigi išeina, kad tarp energijos tam tikrų bangų ir tų bangų dažnumo veikia visuomet nuolatinis santykis $\frac{Ed}{d} = h$. Talgi, h energijos atomas arba mažiausias energijos kiekis, kuriuo vyksta energijos maina erdvėje, yra tokia pat universali konstanta, kaip Njutono visuotinos traukos konstanta. Pažymėjus bangų periodą raide T ir imant domėn, kad $T = \frac{1}{d}$ (pavyzdžiui, jeigu dažnumas yra lygus milijonui sykių per sekundą, tai periodas bus viena milijoninė sekundos dalis, ir atbulai), mes gausime $E_a \cdot T = h$. Taigi, šita Planko konstanta h yra tam tikras energijos kiekis, padaugintas į laiką. O energijos kiekį, veikiantį tam tikrą laiką, mes vadiname paprastame gyvenime akcija. Taip pat mes kalbame apie energijos akciją ir fizikoje. Taigi, einant Planko hipoteze, mes turime dalyką su akcijos atomu, kitaip sakant, mes priimame, kad akcija yra atominė. Plankas, išeidamas iš elektronų teorijos ir remdamasis empiriniais radijacijos daviniais, suskaičiuoja šitą konstantą h ir randa ją lygia $6,555 \cdot 10^{-27}$ ergų-sekundų.

Tai yra labai keistos ir, galima sakyti, sveikam protui nesuprantamos išvados. Bet reikia pasakyti, kad visa tai, kas buvo žinoma prieš Planką apie radiaciją, verste vertė priimti tokią keistą hipotezę. Taip antai, mes jau žinome, kad Krukso, arba katodo, vamzdyje susidaro labai didelių dažnumų X-spinduliai, susidavus katodo dalelėms, arba elektronams, į stiklą arba net į bet kurios metalinės medžiagos skydą. Tiesioginis eksperimentas rodo, kad veikiant tam tikram potencialų skirtumui V , tarp Krukso vamzdžio anodo ir katodo visuomet susidaro X-spinduliai įvairaus dažnumo, bet neperžengiančio tam tikro maksimumo. Didinant potencialų skirtumą ir tas maksimumas auga, taip kad pradedant nuo tam tikro maksimalinio potencialų skirtumo, nuo vadinamo rezonanso potencialo, kiekvienam potencialų skirtumui atitinka tam tikras maksimalinis X-spindulių dažnumas. Pažymėjus elektrono krovinį raide e , esant potencialų skirtumui katodo vamzdyje V , elektrono energija bus $E = Ve$. Eksperimentas rodo, kad ta energija visais atvejais yra lygi $d \cdot h$, kur h turi tokios pat reikšmės kaip ir Planko konstanta. Be to, mes žinome, kad Rentgeno spinduliai, sudavę į metalinį paviršį, išmuša, taip sakant, nuo to paviršio elektronus arba įelektrina šitą paviršį teigiamai. Eksperimentas vėl rodo, kad energija tokių išmuštų elektronų yra tokio pat didumo, kaip ir energija tų elektronų katodo vamzdyje, kurie sudarė X-spindulius; taip kad ir čia mes turime tą patį santykį tarp X-spindulių energijos ir jų dažnumo.

Bet ir matomoje spektro dalyje eksperimentas patvirtina duotą čia išvadą dėl energijos. Taip antai, paėmus vacuum-vamzdį su elektrodais, kuriame randasi, sakysime, natrio garų, ir veikdami tam tikru potencialu tokio vamzdžio katodą mes iš pradžios nieko nepastebėsime spektroskope, kurio žiūronas atkreiptas į tokį vacuum-vamzdį. Bet didindami potencialą katodo, pasiekus jam tą tikrą didumą spektroskope, pasirodys žinoma geltona natrio linija. Taigi, išeina, kad natrio atomas reikalingas yra smūgio iš pusių elektrono tam tikros energijos, kad tas atomas būtų tiek išjudintas, kad

duotų šviesą geltonos linijos dažnumo. Eksperimentas ir čia rodo, kad elektrono energija $E = Ve = dh$. Konstanta h čia yra tokio pat didumo kaip X-spindulių srityje, o katodo potencialas V , prie kurio pasirodo geltona linija, vadinamas rezonanso potencialas, geltonai natrio linijai yra lygus 2,1 voltų. Taigi, jau panašūs eksperimentai aiškiai rodo, kad konstanta h yra svarbus veiksnys energijos mainoje tarp elektrono ir elektromagnetinės radiacijos.

Išeidamas iš postulato, kad radiacijos ir energijos procesai nėra tolydiniai procesai bent atomų srityje, kas neprieštarauja tam, kad jie gali būti tolydiniais procesais aplamai, kada mes turime reikalo su labai dideliais atomų konglomeratais, kaip fiziški kūnai, vadinasi, priimdamas, kad jo linijiniai radiatoriai negali priimti ir negali atiduoti bet kurio neapriboto energijos kiekio ir gali priimti ir atiduoti tik tam tikrus aiškiai apribotus energijos kiekius, kurie negali būti mažesni kaip h (tai energijos kiekis, atatinčias dažnumo vienetui) ir aplamai yra kartotini šito kiekio h , padalindamas savo radiatorių begalinę daugybę juodos radiacijos srityje į begalinę daugybę grupių dažnumų nuo 0 iki ∞ ir taikindamas tokiai radiatorių sistemai galiojantį teoriją, Plankas gauna tokią lygtį juodo kūno radiacijai:

$$E_d = \frac{h d^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\frac{h d}{e k T} - 1}$$

Čia E_d reiškia energiją spektro linijos dažnumo d , h —Planko konstantą, c —elektromagnetinių bangų greitumą, kT —vieno laisvės laipsnio energijos kiekį absoliutinei temperatūrai T ir e —naturalinių (Naperio) logaritmų bazė. Šita lygtis paskelbta Planko 1900 metais, išsprendžia juodo kūno radiacijos problemą ir pilnai atitinka eksperimentų duomenis. Vienu žodžiu, tai yra lygtis radiacijos energijos padalinimo kreivosios, kurią atvaizduoja 9-sis piešinys. Taigi, šita lygtis atomų srityje, mikrokosme, atmeta Maksvelio lygaus energijos padalinimo dėsni ir remiasi postulatu, kad akcija yra atomiška. Mums, kaip ir pačiam Plankui tai nesuprantama, neiškus tas mechanizmas atomų struktūroje, kuris gali absorbuoti ir leisti energiją ne tolydiniai, bet pertraukomis, tam tikromis porcijomis, kvantais. Tikslai darant labai lapidarines analogijas iš praktikos ir mechanikos mes galime gauti šioki tokį, nors ir silpną, supratimą apie šią dalyką. Įsivaizduokime sau eilę taurių su absoliučiai lygiais šonais, pastatytų viena kitos žemiau, kaip ant laiptų laipsnių. Tegu viršutinėje taurėje randasi visiškai lygaus paviršiaus rutulys, kuris sukasi tam tikru greitumu. Toksai rutulys bus pakilęs nuo taurės dugno tam tikru augštu, kuris pareina nuo jo greitumo, vadinasi, nuo jo kinetinės energijos. Jeigu išorinis veiksnys padidins šią rutulio energiją, tai rutulys suksis greičiau ir pakils taurėje augščiau. Pasiekus tam išoriniam veiksmiui tam tikrą didumą, rutulys pakils ligi taurės kraštų ir tada mažiausio išorinio impulso pakaks, kad jis nudriktų iš augštesnės taurės į žemesnę taurę. Panašus išorės veikimas bus reikalingas, kad rutulys nudriktų į kitą žemesnę taurę ir t.t. Dribdamas iš augštesnės taurės į žemesnę, rutulys nustoja tam tikro kiekio energijos, vadinasi atiduoda šią kiekį energijos. Bet kad jis galėtų atiduoti šią kiekį energijos, jis absorbuoja tokį pat kiekį energijos. Arba, paimkime, automatus, kurie išmeta saldinius įmetus į juos nedidelį pinigą, sakysime, 10 centų. Įmesi 10 centų, automatas išmes šokolado plytelę. Bet jeigu įmesi tą pačią sumą tikslai pavidalu dviejų pinigų po 5 centus, tai nieko nebus. Iš praktikos gy-

venimo galima priversti ir daugiau pavyzdžių, kurie rodo, kad akcija vyksta dažnai tam tikromis porcijomis, bet pakaks ir šitų dviejų pavyzdžių, kad suprastum bent galimybę tokios akcijos porcijomis, arba pertraukomis, kuri yra Planko teorijos ir jo radijacijos lygties pagrindas.

Išreiškiant žodžiais prasmę Planko radijacijos lygties ir atatinkančios tai lygtčiai energijos padalinimo kreivosios spektre, kurią atvaizduoja 9 piešinys, mes galime pasakyti, kad didelio dažnumo radijatorių energijos kvantas yra labai didelis, nes tasai kvantas visuomet yra proporcingas radijatoriaus dažnumui arba skaičiui jo virpėjimų per 1 sekundą. Taigi, maža galimybės, kad vienas ar kitas iš tų didelio dažnumo radijatorių turės šitą kvantą. O neturint tokio kvanto, radijatorius, einant Planko postulatu, neleis energijos. Todel toje spektro dalyje, kuri atatinka didelio dažnumo linijoms, energijos bus nedaug. Bet taip pat nedaug bus energijos ir toje spektro dalyje, kuri atatinka mažo dažnumo linijoms, arba ilgomis bangoms. Tiesa, čionai energijos kvantas, proporcingas dažnumui, bus nedidelis ir, einant galiavų teorija, greitai kiekvienas radijatorius turės tokį kvantą ir, vadinas, dalyvaus energijos emisijoje. Bet visa tokių radijatorių išleista energija bus nedidelė todėl, kad patsai energijos kvantas čia nedidelis. Už vis daugiau energijos turės ta spektro dalis, kuri atatinka vidutinio dažnumo linijoms. Čia ir kvantas bus vidutinio dažnumo ir tokių radijatorių, kurie turės šitą kvantą, einant galiavų teorija, bus gan didelis nuošimtis ir todėl visa jų išleista energija (arba ir absorbuota energija) bus didelė. Taigi, suprantama, kad energijos padalinimo kreivoji 9-jo piešinio turi maksimumą energijos pasiekus tam tikrą bangos ilgį arba tam tikrą dažnumą.

Dinamiškas vaizdas, kuris veda prie aprašytų čia energijos radijacijos ir absorbcijos būdų, būtent kvantais, yra toks. Radijacijos procesas smarkiai įkaitintame kūne yra tas, kad tokiam kūne susidaro įvairios grupės sudėtinų virpėjimų, arba osciliacijų, kurios trunka tam tikrą laiką. Šitie sudėti virpėjimai susidaro kaip elektronų su atomais susidarymo išdava. Taigi, ir visas atomas, kaip toks, ir jo elektronai ima virpėti. Einant žinomąją Fourier'o teorema, šitie sudėtiniai virpėjimai susideda iš didelio skaičiaus paprastų harmoningų virpėjimų, kiekvienas tam tikro dažnumo. Kadangi visi tie sudėtiniai virpėjimai susidaro ne tuo pačiu laiku ir ne tam tikroje eilėje sekant vienam kitą, tai faktinai smarkiai įkaitintas kūnas leidžia neapribotas eiles sudėtinų virpėjimų, kurie susideda iš neapriboto harmoningų komponentų skaičiaus. Prizma arba difrakcijos gardelis atskiria tuos virpėjimus nuo viena kito ir talpina juos, taip sakant, tam tikra tvarka su lig jų dažnumu radijacijos spektre. Pažvelgsime dabar į Planko energijos kvantą bendrų dinamikos principų žvilgsniu. Virpėjimai kiekvieno dažnumo turi savo kvantą ir tasai kvantas yra lygus sandaugai iš Planko konstantos ir dažnumo, būtent, $E_d = h \cdot d$ arba $E_d = \frac{h}{T}$, kur T reiškia vibracijų periodą, nes $d = \frac{1}{T}$. Iš čia eina, kad Planko konstanta $h = E_d \cdot T$ — žodžiais yra sandauga tam tikro energijos kiekio į tam tikrą laiką, kaip jau mes matėme anksčiau. Šitą sandaugą mes tada pavadiname energijos akcija. Antra vertus, energijos simbolis, kuris rodo energijos dimensijas, yra $M \cdot \frac{L^2}{T^2}$ — tai reiškia sandaugą iš tam tikros masės M į tam tikro greičio kvadratą (nes $\frac{L}{T} = v$, kur L reiškia tam tikrą ilgį, o T laiką). Taigi, Planko konstanta, arba minimalinis energijos kvantas, atatinkąs dažnumo vienetui, išreikštas ener-

gijos simboliu, bus $M \cdot \frac{L^2}{T^2} \cdot T = M \cdot \frac{L}{T} \cdot L$. Čia, kaip jau nurodyta, $\frac{L}{T}$ yra tam tikras greitumas, o sandauga masės M į greitumą yra judėjimo kiekis, arba judėjimo momentas. Taigi išeina, kad Planko kvantas yra tam tikras judėjimo kiekis, arba momentas, padaugintas į ilgį arba į atliktą kelią.

Dar pirmoj pusėj praeito šimtmečio, būtent 1834—1835 metais, pagarsėjęs Airių kilmės matematikas William Rowan Hamilton užsidavė sutraukti į vieną dėsni žinomą jau ir tada kinetinės ir potencinės energijos užlaikymo dėsni ir kitus dinamikos dėsnius, kad remiantis tokiu apibendrintu dėsniu galima būtų duoti materijalinės dalelės arba fizinio kūno orbitos lygtį. Kinetinės ir potencinės energijos užlaikymo dėsnis, kaipo toks, neduoda galimybės suskaityti vieno kūno orbitą. Juo mažiau jis duoda galimybės suskaityti kūnų sistemos orbitą. Bet jeigu kūnas randasi jėgos lauke (gravitacijos laukas, elektromagnetinis laukas) ir pradeda ten savo judėjimą nuo tam tikros padėties tam tikru greitumu, tai tokiu atveju energijos užlaikymo dėsnis duoda galimybės suskaityti kūno greitumą, kada jis pasiekia kitą padėtį, ir vis tiek, ar kūnas slenka laisvai savo orbita, ar jis slenka taja orbita būdamas įtakoje tam tikrų ryšių, arba įtakoje tam tikrų jėgų iš kitų kūnų pusės, su ta tačiau sąlyga, kad šitie ryšiai arba jėgos yra laisvi nuo trynimo ir todėl neaikvoja energijos. Hamiltonas išsprendė pastatytą sau klausimą ta prasme, kad orbita, kuria slenka materijaline dalelė arba fizinis kūnas, kurį veikia sistema ryšių arba jėgų be trynimo, vadinasi, tokia sistema, kurioje energija neaikvojama trynimui pergalėti, yra tokios rūšies, kad materijalinė dalelė, arba kūnas, pereina iš vienos padėties į kitą padėtį ant tos orbitos taip, kad akcija, surišta su tokiu perėjimu, visuomet yra minimalinė, jeigu tik energijos kiekis pirmoje padėtyje yra tas pats, kaip ir antroje padėtyje. Akciją čia reikia suprasti taip, kaip anksčiau išaiškinta, būtent, kaipo sandaugą tam tikro judėjimo momento į atliktą kelią arba tam tikro energijos kiekio į laiką. Šitas dinamikos dėsnis žinomas kaipo Hamiltono minimumo akcijos dėsnis ir turi kuo plačiausį pritaikinimą ne tik dinamikos srityje, bet ir kitose fizikos srityse, kaip antai, termodinamikoje, optikoje ir elektromagnetizmo srityje. Termodinamikoje šitas dėsnis tampa entropijos augimo dėsniu. Optikoje, nagrinėjant šviesos spindulio atspindį, lūžimą ir santykį tarp šviesos objekto ir jo vaizdo, šitas Hamiltono dėsnis reiškia, kad šviesos spindulio atliktas kelias visuomet yra trumpiausias. Elektromagnetizmo srityje Hamiltono principas išsiplėčia į žinomas Maksvelio elektromagnetinio lauko lygtis. Taigi, šitas minimumo akcijos principas duoda fizikams galimybės spręsti įvairias fizikos-chemijos problemas remiantis dinamika, ir ta yra jo didelė reikšmė, nes galutinas teorinės fizikos uždavinys yra tas, kad kiek ir kur tik galima pritaikinti dinamikos dėsnius įvairių įvairiausiems fizikos-chemijos fenomenams išaiškinti ir aprašyti.

Iš viso to, kas čia pasakyta apie radiacijos procesą, aišku, kad Planko kvantų hipotezė yra ne kas kita, kaip pastangos išspręsti energijos radiacijos problemą remiantis Hamiltono minimumo akcijos principu.

Bet ypatingai įdomų suderinimą Planko kvantų hipotezės ir Hamiltono minimumo akcijos principo atliko genialus šių dienų danų fizikas Niels Bohr'as, kad suskačiuotų elektronų statišku, arba pusiausvyros, orbitų radius. Kalbėdami apie vandenilio spektrą mes jau anksčiau matėme, kad reikia priimti tokių statišku orbitų buvimą, vadinasi, tokių orbitų, kuriose elektronas juda neatiduodamas energijos. Taigi Boras priima, kad kiekviena tokia pusiausvyros, arba statiškoji, orbita charakterizuojasi tam

tikru energijos kvantu ir kad tasai energijos kvantas yra lygus akcijai, einant Hamiltono principu. Pažymėsime sūkių skaičių, kurį per sekundą atlieka elektronas savo orbita, raide n . Tai bus elektrono dažnumas, o jo orbitos kvantas, kaip augščiau išdėstyta, bus $n h$ (h —Planko konstanta). Tegu elektrono masė bus m , jo greitumas v ir jo orbitos radiusas r . Tad akcija Hamiltono dėsniu prasme bus $m v \cdot 2 \pi r$. Taigi, Boras priima, kad $m v \cdot 2 \pi r = n h$, arba kadangi $v = \frac{2 \pi r}{T}$, $\frac{4 \pi^2 r^2}{T} m = n h$. Remdamasis šituo postulatu Boras tokiais protavimais nustato bendrą elektrono pusiausvyros orbitų lygtį. Elektronas, kuris sukasi orbita, yra įtaikoje išcentrinės jėgos $\frac{m v^2}{r}$. Šitos išcentrinės jėgos veikimas kompensuojasi elektrostatinės traukos veikimu tarp elektrono ir atomo branduolio. Pažymėsime, kaip visuomet, elektrono elektros krovinį raide e ir tegu branduolio atominis skaičius bus N . Tad branduolio teigiamas elektros krovinsys bus $N e$ ir elektrostatinė jėga, veikianti tarp elektrono ir branduolio, einant Kulono dėsniu, bus $\frac{N e^2}{r^2}$. Elektronas pasiliks ant orbitos tik tada, kada išcentrinė ir elektrostatinė traukos jėgos bus lygios ir viena prieš kitą atkreiptos. Vadinasi, $\frac{m v^2}{r} = \frac{N e^2}{r^2}$ arba, kadangi

$$V = \frac{2 \pi r}{T}, \quad \frac{4 \pi^2 m r}{T^2} = \frac{N e^2}{r^2} \cdot \text{Kinetinė elektrono energija bus:}$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{4 \pi^2 r^2}{T^2} m = \frac{2 \pi^2 r^2 m}{T^2} = \frac{N e^2}{2 r},$$

jeigu priimti domėn viršuj duotą lygtį tarp išcentrinės ir elektrostatinės jėgų. Bet elektronas turi ir potencinę energiją, kaip ir kiekvienas kūnas, kuris sukasi tam tikra orbita aplink tam tikrą centrą. Pažymėsime elektrono maksimalinę potencinę energiją raide W_∞ . Toji maksimumo potencinė energija bus lygi darbui, kuris reikalingas nuvaryti, arba nustumti, elektroną nuo branduolio į begalinį atokumą, kitaip sakant, tai bus atomo jonizacijos darbas, atskeliant nuo atomo vieną elektroną. Praktiškai kalbant, tai bus nuvarymas elektrono nuo branduolio ne į begalinį atokumą, bet į atokumą praktiškai visiškai nedidelį, kuris tačiau bus labai didelis sulyginus su elektrono orbitos radijumi. Antra vertus, darbas, reikalingas nuvaryti, arba nustumti, elektroną nuo branduolio radijo r orbitos atokumu, einant žinomais elektrostatiškos dėsniais, yra lygus $\frac{e \cdot N e}{r}$. Skirtumas tų dviejų darbų,

būtent $W_\infty - \frac{N e^2}{r}$ ir bus potencinė energija, kurią turi elektronas slinkdamas radijo r orbita. Taigi, visa elektrono energija ant radijo r orbitos bus jo potencinė plus jo kinetinė energija. Pažymėję visą šią energiją raide W_r , mes turėsime: $W_r = W_\infty - \frac{N e^2}{r} + \frac{N e^2}{2 r} = W_\infty - \frac{N e^2}{2 r}$.

Pabrėšime čia, kad darant visas šitas išvadas taikinami paprasti dinamikos principai todėl, kad elektrostatinės jėgos, veikiančios tarp branduolio ir elektronų, yra didelės, sulyginti su tomis jėgomis, nuo kurių pareina radijacija. Kadangi $\frac{4 \pi^2 r^2}{T} m = n h$ (Boro postulatas), tai $T = \frac{4 \pi^2 r^2 m}{n h}$

Lygtyje $\frac{4 \pi^2 m r}{T^2} = \frac{N e^2}{r^2}$ pakeisdami T šita jo verte, mes gausime:

$$\frac{4 \pi^2 m r n^2 h^2}{16 \pi^4 r^4 m^2} = \frac{N e^2}{r^2}, \text{ iš kur eina } r = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 N e^2 m}.$$

Šita lygtis mus įgalina suskaičiuoti radiusus statiškoms orbitoms imant $n=1,2,3$, ir t.t., nes $n h$ yra energijos kvantas, o energijos kvantai santykiuoja

kaip eilė sveikų skaičių. Taip antai, imant $n=1$ ir imant domėn anksčiau duotus dydžius Planko konstantai h , elektrono kroviniai, jo masei m ir žinant, kad vandenilio atomui $N=1$, mes gausime $r=0,52 \cdot 10^{-8}$ cm. pačiai vidutinei ir mažiausiai orbitai. Kadangi atomo radius yra apie 10^{-8} cm., tai aišku, kad visos kitos pusiausvyros orbitos randasi šalia atomo užimto tūrio.

Pakeisdami r dydžiu $\frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 N e^2 m}$ lygtyje visai elektrono energijai

$$W_r = W_\infty - \frac{N e^2}{2 r}, \text{ mes gausime:}$$

$$W_\infty - \frac{N e^2}{2 n^2 h^2} \cdot 4 \pi^2 m N e^2 = W_\infty - \frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{n^2 h^2}.$$

Boras priima, kad elektronas, pasilikdamas ant savo orbitos, neatiduoda energijos. Tas ar kitas išorės veiksnys, sakysime, atomo susidūrimas su gretimomis molekulėmis arba aplamai toje ar kitoje formoje suteikiama iš oro energija, gali padidinti elektrono energiją ant duotos orbitos, taip kad elektrono energija gali pasidaryti lygi tai energijai, kuria charakterizuojasi kita, tolimesnioji orbita. Tada elektronas atsitolins nuo branduolio, pereidamas į kitą tolimesnę statiską orbitą. Atbulai, jeigu tasai arba kitas išorės veiksnys arba branduolio elektrostatinė trauka privers elektroną prisitarti prie branduolio, tai jis prisitartins visuomet pereidamas nuo tolimesnės į artimesnę orbitą, paliusuodamas arba atiduodamas tam tikrą kiekį energijos, kuriuo skiriasi viena orbita nuo kitos. Taigi, energijos absorbcija, Boro nuomone, visuomet reiškia perėjimą elektrono nuo artimesnės branduoliui orbitos į tolimesnę, vadinasi, visuomet reiškia atsitolinimą elektrono nuo branduolio. Tai bus atomo jonizacijos procesas, kuris, prasidėjęs išorės veiksnio įtakoje, sakysime, šilimos, šviesos arba elektros iškrovimo įtakoje, absorbuoja energiją kvantais, pereinant elektronui nuo vienos orbitos į kitą kol elektronas neatsitolins nuo branduolio tiek, kad elektrostatinės traukos jėgos pasidarys lygios nuliui. Bet išorės veiksniai, dažniausiai susidūrimas su kitais elektronais arba net ir su molekulėmis artimiausioje aplinkumoje, gali vėl tiek priartinti elektroną prie branduolio, kad jis vėl pateks elektrostatinės traukos jėgų įtakon. Tada elektronas arba bus pritrauktas branduolio ligi pačios vidurinės orbitos arba ligi vienos iš išorės orbitų. Pirmuoju atveju jis atiduos arba išleis už vis daugiau energijos, antruoju mažiau. Taigi, Boro nuomone, energijos radijacija reiškiasi tuo, kad to ar kito išorės veiksnio įtakoje elektronas pereina nuo tolimesnės į artimesnę nuo branduolio orbitą, paliusuodamas tokį energijos kiekį, kuriuo tos dvi orbitos skiriasi nuo viena kitos. Tai būna tada, kada elektronas vėl jungiasi su atomo branduoliu, kada mes turime branduolio ir elektrono rekombinaciją.

Pažymėsime dviejų orbitų radius raidėmis r_1 (tolimesnės orbitos) ir r (artimesnės nuo branduolio orbitos) ir atitinkamai energijas tolimesnės ir artimesnės orbitų raidėmis W_{r_1} ir W_r . Tad skirtumas tarp tų dviejų orbitų energijų bus:

$$W_{r_1} - W_r = W_\infty - \frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{n_1^2 h^2} - W_\infty + \frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{n^2 h^2} = \frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right).$$

Einant Planko hipoteze, jeigu pereinant elektronui nuo tolimesnės į artimesnę orbitą energija atiduodama monochromatinės radijacijos pavidalu, tai $W_{r_1} - W_r = dh$, kur d reiškia radijacijos bangų dažnumą ir h Planko konstantą. Taigi, dažnumas spektro linijos, kuri pasirodo pereinant elektronui nuo tolimesnės į artimesnę orbitą, yra lygus:

$$d = \frac{W_{r_1} - W_r}{h} = \frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right).$$

Šita formulė spektro linijų dažnumo veikia branduoliui atominio skaičiaus N ir tik tada, kada prie jo artinasi vienas elektronas. Čia dydis $\frac{2\pi^2 m N^2 e^4}{h^3}$ yra tam tikra konstanta, nes tas dydis sudarytas tik iš pastovių dydžių, o n ir n_1 yra dydžiai, kuriuos iš eilės galima pakeisti sveikais skaičiais 1,2,3 ir t. t.

Tokį atsitikimą, kada prie branduolio artinasi tik vienas elektronas, duoda vandenilis, kurio atominis skaičius yra lygus vienetui. Taigi, vandeniliui šita konstanta yra lygi $\frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} = A$. Todel dažnumas įvairių vandenilio spektro linijų gali būti išreikštas tokia formule:

$$d = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) = A \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right).$$

Greta parašysime ankščiau paminėtą formulę vandenilio matomos dalies spektro linijų dažnumo, kurią surado Balmeris, būtent, $d = A \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$.

Šita formula yra empirinė, o Boro formulė išvesta remiantis kvantų hipoteze ir minimumo akcijos principu. Abidvi formulos yra identiškos, tik Boro formulė apima ne tik matomąją vandenilio spektro dalį, bet ir abidvi vandenilio nematomas linijų serijas. 10 piešinys¹⁾ atvaizduoja vandenilio statišku, arba pusiausvyros, orbitų skiemenį, einant Boro teorija. Artimiausia nuo branduolio orbita vadinama vidujine orbita, pažymėta čia raide K , kita, jau išorės orbita, pažymėta raide L . Trečia, ketvirta penkta ir t. t. išorės orbitos pažymėtos iš eilės raidėmis M , N , O ir t. t. Šiais ženklais žymima išvidinės ir išorinės orbitos ir kitiems atomams. Einant Boro teorija, vandenilio atomo radijacija atrodo taip. Kada elektronas traukiamas prie branduolio, tai jis gali nukristi ligi vidujinės orbitos K , arba ligi antros orbitos L , arba ligi trečios orbitos M ir t. t. Aišku, kad nukritęs iš tolo arba nuo vienos iš išorinių orbitų ligi vidujinės orbitos, jis paliuosuos už vis daugiau energijos, kuri bus lygi apmaiui dažnumui, padauginus į Planko konstantą h . Taigi, spektro linijos, kurios apsireikš kaip pasekmės tokio elektrono kritimo į vidujinę orbitą, bus didelio dažnumo linijos ir bus nematomoje ultravyšniavoje spektro dalyje. Kadangi elektronas gali nudrikti į vidujinę orbitą iš tolumos arba nuo orbitos N , arba nuo orbitos M , arba pagaliau nuo orbitos L , tai aišku, kad šitoje ultravyšniavoje spektro dalyje mes turėsime seriją bent iš šešių linijų, iš kurių mažiausio dažnumo bus linija sudaryta elektrono puolimu iš orbitos L į orbitą K ir didžiausio dažnumo bus linija, sudaryta elektrono puolimu iš tolumos į orbitą K .

Šitų linijų dažnumus mes gausime einant Boro formulę:

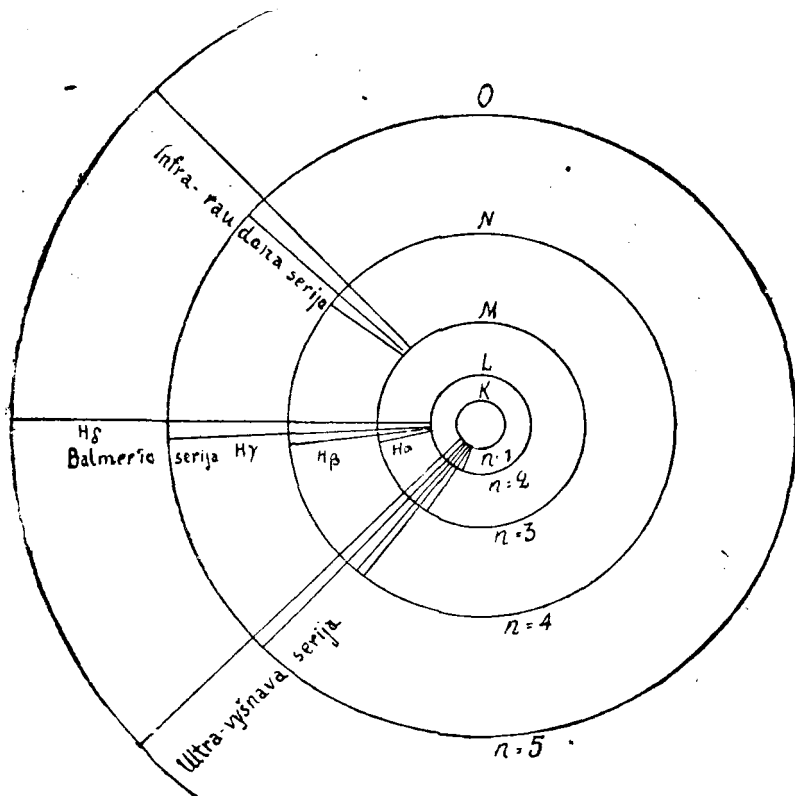
$d = A \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$, paėmus $n=1$ ir n_1 pakeičiant iš eilės skaičiais 2,3,4 ir t. t. Lymanas surado šitą seriją ir spektrometriniais bandymais konstatavo, kad atskirų tos serijos linijų dažnumai pilnai sudera su suskaičiais einant Boro formulę dažnumais.

Matomoji vandenilio spektro dalis eksperimentiškai ištirta Balmerio ir todėl vadinasi Balmerio serija. Ji susideda iš keturių linijų įvairaus dažnumo, bet jau mažesnio dažnumo kaip linijų K -serijos dažnumai. Čia vėl puolant elektronui iš tolumos į antrą arba L -orbitą gausime didžiausio dažnumo

¹⁾ Pusiausvyros orbitų radijo formulė $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m N e^2}$ rodo, kad pusiausvyros orbitų radijai santykianja, kaip $1^2, 2^2, 3^2, \dots$, nes radijas yra proporcingas n^2 , o n yra lygus iš eilės 1,2,3... Taigi, piešiant vandenilio orbitas tikru mastabu (dydrodžiu) reikėtų paimti orbitoms K, L, M, N radius iš eilės 1, 4, 9, 16. Bet tada neužtektų vietos ant puslapio.

liniją (arčiau prie ultravyšniavos spektro dalies), pažymėtą Balmerio ženklu H_δ . Tai bus vyšniava vandenilio linija. O puolant elektronui iš orbitos O į orbitą L, gausime jau mažesnio dažnumo liniją, būtent, mėlyną liniją H_γ . Pereinant nuo orbitos N į orbitą L gausime dar mažesnio dažnumo liniją H_β ir, pagaliau, pereinant nuo orbitos M į orbitą L gausime mažiausio dažnumo matomą liniją, būtent, H_α . Abidvi paskutinės linijos randasi raudonoje spektro dalyje. Pakeisdami dažnumo lygtyje $d = A \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$

n skaičiumi 2 ir n_1 iš eilės skaičiais 3,4,5,6 mes gausime matomos dalies spektro keturių linijų dažnumus, kurie pilnai atitinka Balmerio tiesioginių bandymų nustatytiems dažnumams.



Pagaliau, puolant elektronui iš tolumos arba nuo tolimesnių orbitų į trečią orbitą arba M-orbitą mes gausime dar trečią linijų seriją infraraudo-
noje dalyje vandenilio spektro (žiūr. 10 pieš.). Čia mes turime vadinamą Paschen'o seriją, kuri susideda iš trijų linijų ir kuri kiekybiškai ištirta Pa-
šeno. Pašeno toms linijoms nustatyti dažnumai pilnai atitinka dažnumams, kurie suskaitomi iš Boro formulos, jeigu paimti $n=3$ ir n_1 pakeisti iš eilės skaičiais 4,5,6. Taigi, mes čia turime kuo puikiausį suderimą eksperimento ir teorijos. Pabrėšime čia tik dar, kad konstanta $A = \frac{2 \pi^2 m e^4}{h^3}$, Balmerio ir kitų bandymais nustatyta yra lygi $3,2882 \cdot 10^{15}$. Šią konstantą mes galime suskaityti, nes mes žinome elektrono masę m , jo krovinį e ir Planko kon-

stantą h , būtent: $m=9.10^{-28}$, $e=4,77.10^{-10}$ e. s. u (elektrostat-vienetų).
ir $h=6,555.10^{-27}$. Taigi konstanta

$$A = \frac{2 \cdot (3,14)^2 \cdot 9.10^{-28} \cdot (4.77.10^{-10})^4}{(6,555.10^{-27})^3} = 3,2865.10^{15}.$$

Taigi bandymais nustatyto ir einant Boro formule suskaičytos konstantos tiek maža skiriasi nuo viena kitos, kad mes galime laikyti jas identiškomis ir žiūrėti į tai, kaip į Boro teorijos patvirtinimą.

Sutraukiant visa tai, kas čia pasakyta apie vandenilio atomo energijos emisiją, arba absorbciją, mes turime tokį vaizdą: jeigu vandenilio atomui suteikiama tuo ar kitu būdu iš oro energija, tai jo elektronas pasiliks ant vienos iš orbitų K, L, M... tol, kol suteiktas energijos kiekis pasidarys lygus kvantų skirtumui duotos orbitos ir tolimesnės išorės orbitos, nes Boro teorijos esmė yra ta, kad kiekviena orbita charakterizuojasi tam tikru energijos kvantų skaičiumi. Atbulai, jeigu koksai išorės veiksnys, sakysime, sumažins energiją arba, tiksliau sakant, sumažins jo kvantų skaičių, tai elektronas nebesiliks ant duotos orbitos ir nudrįbs į vieną iš artimesnių nuo branduolio orbitų. Bet reikia atsiminti, kad energijos kvantas visuomet yra lygus $h \cdot d$, kur h yra Planko konstanta ir d dažnumas. Taigi, energijos kvantai, kuriais charakterizuojasi atskiros orbitos, nevienodi ir todėl iš aukščiau pasakyto neišeina, kad elektronas, nudrįbęs nuo vienos iš išorės orbitų į vieną iš vidaus orbitų, turi mažiau energijos. Priešingai, elektrono kinetinė energija ant artimesnės branduolio orbitos yra didesnė kaip ant tolimesnės nuo branduolio orbitos ir net ir visa jo energija yra tokiu atveju didesnė. Iš tikrųjų, einant žinomais elektrostatiškos dėsniais, energija elektrono, kuris randasi atokume r_2 nuo branduolio, bus $\frac{E \cdot e}{2 r_2}$, o atokume $r_1 > r_2$ ta energija bus $\frac{E \cdot e}{2 r_1}$. Bet $\frac{E \cdot e}{2 r_1} > \frac{E \cdot e}{2 r_2}$, nes pirmos trupmenos vardiklis mažesnis kaip antros. (Čia E reiškia branduolio krovinį, o e —elektrono krovinį). Taigi išeina, kad artinantis elektronui prie branduolio, jo energija didėja ir, būtent, tokiu dydžiu:

$$\frac{E \cdot e}{2 r_1} - \frac{E \cdot e}{2 r_2} = \frac{E \cdot e}{2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Todel kyla klausimas, iš kur elektronas ima tą energiją, kurią jis atiduoda dribdamas nuo tolimesnės į artimesnę nuo branduolio orbitą. Kad suprastum šitą dalyką pasinaudosime sekančiu paprastu pavyzdžiu iš dinamikos. Gulščiai ar nuožulniai sviestas ant žemės kūnas, sakysime, akmuo arba šovinyš iš armotos, slenka orbita, kuri yra ištemptos elipsės dalis. Vienas iš tos elipsės židinių (fokų) sutampa su žemės centru. Vienu žodžiu, sviestas akmuo arba šovinyš tampa žemės palydovu, nelyginant kaip mėnulis, ir jeigu nesisuka aplink žemę elipsiška orbita, tai tik todėl, kad akmuo, atlikęs tos orbitos dalį, paliečia žemę. Bet suteikiant akmeniui arba šoviniui pakankamai didelį greitumą, galima pasiekti tokia padėtis, kad akmuo arba šovinyš iš tikrųjų ims suktis aplink žemę ištempta elipse, kurios vienas iš radijų bus lygus žemės radijui R . Lengva suskaičyti reikalingą tokiam judėjimui greitumą. Tegu akmens masė bus m , tai jo svoris bus $m \cdot g$ (g žemės greitėjimas). Tai bus traukos jėga arba įcentrinė jėga, kurios akmuo traukiamas prie žemės centro. Kad akmuo galėtų pasilikti ant orbitos, reikia, kad išcentrinė jėga $\frac{m v^2}{R}$ būtų lygi įcentrinei jėgai, tik priešingai atkreipta (čia v reiškia suteiktą akmeniui greitumą lygiagrečiai akyačiumi). Taigi, $m \cdot g = \frac{m v^2}{R}$, iš kur eina $V = \sqrt{g R}$. Šita lygtis įgalina iš anksto su-

skaityti tas greitumas v , kuris reikia suteikti akmeniui lygiagrečiai akyačiui, kad jis nebenudribtų ant žemės, bet suktusi aplink žemę elipsiška orbita. (Suskaitymas čia daromas dalykui suprastinti rato orbitai radijo R , bet toks pat suskaitymas, tiksliai kiek painesnis, galima padaryti ir elipsiškai orbitai). Iš augščiau duotos lygties išeina, kad tas greitumas bus apie 8 kilometrus per sekundą. Vadinas, jeigu suteikti akmeniui tokį greitumą, tai jis atsitolins nuo žemės centro žemės radiju R . (Dar uždaviniui suprastinti galime sau įsivaizdinti, kad visa žemės masė sukoncentruota jos centre, taip kad sistema akmuo—žemė bus dar panašesnė į sistemą atomo branduolys—elektronas). Dabar išspręsimė klausimą, kokį greitumą reikia suteikti akmeniui, kad jis atsitolintų nuo žemės begaliniu atokumu, vadinasi išeitų iš žemės traukos jėgos sferos. Aišku, kad šitas greitumas bus lygus tam grei-tumui, kuri įsigytų akmuo nudribęs ant žemės iš begalinio atokumo. Iš di-namikos mes žinome, kad kūnas, kuris krinta iš begalinio atokumo, būda-mas įtakoje jėgos, kuri visą laiką yra atvirkščiai proporcinga atokumo kva-dratui, įsigyja greitumą $V = \sqrt{2gR}$. Taigi, tokį greitumą reikia suteikti akmeniui, kad jis galėtų išeiti iš žemės traukos jėgos sferos. Suskaičius, tasai greitumas bus apie 11 kilometrų. Kinetinė energija, akmens įgyta, nu-dribus jam iš begalinio atokumo ligi atokumo R nuo traukos centro, bus $\frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m \cdot 2gR = mgR$. O kinetinė energija ant orbitos atokume R nuo traukos centro yra $\frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m \cdot gR$. Taigi išeina, kad nu-dribęs iš begalinio atokumo ligi orbitos radijo R akmuo įsigyja dusek tiek kinetinės energijos, kiek jis turi slinkdamas ant orbitos radijo R . Bet ta pati išvada dera ir tokiam atsitikimui, kada akmuo puola nuo tolimesnės į artimesnę nuo traukos centro orbitą. Puldamas akmuo įsigyja dusek tiek energijos, kiek kinetinė energija ant orbitos radijo r_1 yra didesnė kaip ki-netinė energija ant orbitos radijo r_2 . Taigi, šitą energijos kiekį, lygų skir-tumui tarp kinetinių energijų orbitų radijų r_1 ir r_2 akmuo atiduos. Tai va tokie santykiai veikia kaip tik sistemoje atomo branduolys ir elektronas, kuris gali būti ant įvairių pusiausvyros orbitų. Skirtumas tarp astronomi-nės sistemos ir atominės sistemos yra dvejopas. Visų pirma mes niekaip negalime sumažinti arba padidinti energijos kiekį tos ar kitos planetos, kuri sukasi aplink savo traukos centrą. Atomo srityje mes galime tai padaryt. Bombarduodami atomą kitais atomais arba molekulėmis, arba varydami elektros iškrovimą medijume, kuriame randasi atomas, arba veikdami ultra-vyšniavais arba Rentgeno spinduliais, mes galime nuskelti elektroną nuo atomo ir nuvaryti jį ant tolimesnės orbitos arba net ir nuvaryti jį į bega-linį atokumą, arba, konkrečiai kalbant, išvaryti jį visiškai iš atomo branduo-lio traukos sferos. Taip pat, veikiant tam tikro dažnumo radijacija arba pa-talpinus atomą tokioje aplinkumoje, kur randasi daug elektronų, kurie dau-žosi su kitais elektronais arba aplanai su molekulėmis, elektrono energija gali tiek sumažėti, kad jis dribs iš tolimesnės į artimesnę nuo branduolio orbitą dažniausiai nusistovėdamas pačioje išvidinėje orbitoje K , bet gali atsitikti ir taip, kad jis nudribs į patį branduolį, visiškai nustodamas savo kinetinės energijos.

Kitas pagrindinis skirtumas tarp astronominės sistemos ir atominės sistemos yra tas, kad mažėjant arba didėjant planetos energijai dėl tų ar kitų priežasčių, planeta tolydiniai artinasi prie savo traukos centro arba to-linasi nuo jo. O elektronas, kaip mes žinome, pasilikdamas ant savo or-

bitos, absorbuos energiją tol, kol gauta jo energija pasidarys lygi arba vienam, arba dviems, arba trimis energijos kvantams ir tada tik elektronas persoks, taip sakant, į vieną iš tolimesnių nuo branduolio orbitų arba net į begalinį atokumą nuo branduolio. Taip pat mažinant, sakysime, susidūrimais elektrono energiją, jis pasiliks ant savo orbitos, kol jo energija nesusmažės 1,2,3 ir t.t. kvantais ir tada jis nudribs į vieną iš artimesnių nuo branduolio orbitų, atiduodamas pusę įsigytos drimbant kinetinės energijos tam tikro dažnumo radijacijos pavidalu. Taigi, naudojantis schema, kurią atvaizduoja 10 piešinys, reikia turėti galvoj išdėstytus čia santykius. Pabrėžiame čia dar syki, kad mes ne tik nežinome, bet ir sunkiai suprantame tokį atomo mechanizmą, kuris veda prie energijos mainos su aplinkuma arba su pasauliniu eteriu kvantais.

Kada vandenilio atomas randasi normaliose arba paprastose sąlygose, tai jo elektronas palydovas randasi ant vidurinės orbitos K. Energijos absorbcija vandenilio atomų visuomet reiškiasi perėjimu jo elektrono palydovo iš orbitos K į orbitas L, M N... arba net į orbitą begalinio atokumo arba begalinio radijo, kada mes turime atomo jonizaciją. Taigi, jonizacijos energija visuomet yra lygi su ta kinetine energija, kurią įgyja elektronas, nudribs iš begalinio atokumo ligi orbitos K. Kada gi vandenilio atomo branduolys randasi tokioje aplinkumoje, kad prie jo ima artintis elektronas, tai tada mes turime energijos emisiją arba radijaciją, kuri visuomet yra surišta su puolimu elektrono iš tolimesnių į artimesnes nuo branduolio orbitas.

Reikia tačiau pasakyti, kad išdėstyti čia santykiai ir augščiau duota Boro spektro linijų dažnumo lygtis veikia tik paprasčiausiai sistemai: teigiamas branduolys ir elektronas. Fizikoje mes turime dar tik vieną tokią sistemą, būtent helio atomą, kuris yra nustojęs vieno iš savo elektronų. Vadinasi, helio jonui su vienu teigiamu elektros kroviniu, artinantis prie jo elektronui, mes turime tuos pačius santykius kaip ir vandenilio atomui ir, vadinasi, tokio helio spektro linijų dažnumui suskaityti mes galime pasi- naudoti Boro lygtimi $d = A \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$, kur $A = \frac{2 \pi^2 m e^4}{h^3}$. Bet, ap- la- mai, Boro konstanta yra lygi $\frac{2 \pi^2 m N^2 e^4}{h^3}$, kur N reiškia atominį elemento skaičių. Kadangi helio atominis skaičius yra 2, kitaip sakant, helio branduolys turi du teigiamus krovinius, tai aišku, kad Boro lygtyje reikia kon- stantą A padauginti keturiais, kad ta lygtis galima būtų pritaikinti vienva- lentingam helio jonui. Taigi, tokiam helio jonui mes turėsime lygtį:

$d = 4 A \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$. Imdami vieton n ir n_1 iš eilės sveikus skaičius ir pakeitę A nustatytu jam dydžiu, mes gausime vienvalentingo helio jono spektro linijas. Fizikai Pickering'as ir Fowler'is tiesioginiais bandymais nustatė tokio helio jono spektrą, suskaitė to spektro linijų dažnumus ir konstatavo, kad iš spektrinių matavimų suskaityti dažnumai pilnai atitinka tiems, kurie išeina iš Boro lygties.

Bet kada, sakysime, helio atomas yra nustojęs abiejų savo elektronų ir kada prie jo artinasi du elektronai, tai mes jau turėsime astronomišką sistemą iš trijų kūnų, o judėjimas sistemos iš trijų kūnų astronomijoje dar ir šiandien nėra galutinai išspręstas.—Pereinant prie kito atomo—ličio ir prie dar sunkesnių atomų, mes turėsime vis painesnes ir painesnes siste- mas, sudarytas iš vis didesnio ir didesnio skaičiaus judančių kūnų. Šios dienos matematika nebepadeda čia fizikai išspręsti tokių painių sistemų ju- dėjimo problemos, nes čia jau prisiėina skaitytis ne tik su traukos jėga, kuri

išeina iš branduolio ir kuri veikia atomo elektronus, bet ir su atsparos jėgomis, kurios veikia tarp elektronų. Taigi, mes čia turime tokią perturbacijos problemą, kurios šių dienų matematikos metodais išspręsti negalima. Todel čia pasilieka tik vienas kelias—apčiuopomis ieškoti tokių konfigūracijų sunkesniems atomams, kurios atitiktų santykiams, išeinantiems iš tų atomų spektro bandymo. Taip ir elgiasi Boras iš atžvilgio į sunkesnius atomus, naudodamasis savo vadinamu korespondencijos principu. Tasai principas yra tas, kad turint daugybę elementarinių, arba elektroninių, radiatorių, kiekvienam individualiam radiatoriui veikia Planko kvantų dėsnis, bet vidutinė tokios daugybės radiatorių radijacija galima suskaityti išeinant iš Maksvelio lygaus energijos padalinimo dėsnio tarp įvairių laisvės laipsnių ir skaitant, kad ta vidutinė radijacija daugybės radiatorių yra tolydinis procesas. Priminsime čia tik, kad turint daugybę bet kurių dujų molekulių įvairių įvairiausių greitumu, mes, remdamiesi Maksvelio dėsniu, galime suskaityti vidutinę dujų kinetinę energiją ir vadovaujantis taja vidutine kinetine energija padaryti išvadų, kurios atitinka tikrąsias. Remdamasis šituo korespondencijos principu Boras nustatė konfigūracijas, vadinasi, pusiausvyros orbitų skaičių ir skaičių elektronų kiekvienai orbitai sunkesniems elementams. Pabrėšime čia, kad Boro skiemens pilnai sutampa su tais skiemensimis, kurie apčiuopiamai chemikų nustatyti sunkesniems elementams remiantis fizikos-chemijos daviniais ir prisilaikant J. J. Tomsono nustatytų elektronams ir branduoliui elektrostatinės pusiausvyros sąlygų. Kai kuriems elektronams šitie skiemens duoti 3-me § ir dalinai atvaizduoti 5-ju piešiniu.

Išdėstytoji čia radijacijos teorija ir atomų struktūra yra tik pirmas žingsnis tolimesniam šitos problemos plėtojimui ir išsprendimui. Kol kas problema aiškiai ir galutinai išspręsta tiktai vandenilio atomui ir vienatoniui, arba vienvaentingam, helio jonui. Taigi, nepriseina manyti, kad duota čia atomo struktūra ir radijacijos teorija yra realybė. Kaip kiekviena teorija, taip ir šita teorija yra tik laikina priemonė, laikinas įrankis spręsti fizikos problemoms, nelyginant kaip ir plūgas yra tik laikinas įrankis žemei arti. Negali būti abejonės, kad ateities įrankiai bus kitoki ir ateities atomo struktūros ir radijacijos vaizdas labiau atitiks tikrąsias. Bet iš kitos pusės negali būti abejonės, kad išdėstyta čia teorija, kuri išsprendžia energijos padalinimo spektre problemą ir įneša didelę tvarką į tokį painų fenomeną, kaip serijų spektrai, turi savyje šį tą iš realybės ir todėl atidaro fizikams ir chemikams naujas ir plačias perspektyvas. Taigi, baigdami šitą straipsnį, mes trumpai atkartosime tas išvadas, kurias galime padaryti iš išdėstytos čia radijacijos teorijos, kurios gali būti paremtos tiesioginiais bandymais.

Radijacija reiškia daug panašumo su materija. Maksvelio buvo iš anksto numatyta ir suskaityta, kad šviesos spindulys turi reikšti spaudimą. Didelis rusų fizikas, Maskvos universiteto profesorius Lebedevas tiesioginiu bandymu patvirtino šitą Maksvelio išvadą. Taigi išeina, kad skirtumai tarp materijos ir energijos, kurie mums atrodo taip neabejotini, yra iliuzoriški. Visa elektrono masė, kuri slenka elektros lauke, yra elektriškos kilmės, kitaip sakant, elektrono energija yra ekvivalentinga tam tikrai masei. Didėjant elektrono greiui, didėja ir masė, nes tokiu atveju prie elektrostatinio lauko prisideda dar magnetinių jėgų laukas. Einant reliatyvumo teorija, tarp energijos ir masės mes turime tokį santykį: $\frac{E}{c^2} = m$, (m čia reiškia masę, c šviesos greitumą ir E energiją). Taigi, paprasta masė yra ne kas kita, kaip labai didelis energijos išteklis.

Nėra tokios jėgos, kuria galima būtų suteikti šviesos greitumą sistemai, sudarytai iš materijalinių dalelių ir elektronų, nes tada tokios sistemos masė pasidarytų be galo didelė. Taigi, šviesos greitis yra didžiausias fiziško pasaulio greitis, tai yra savo rūšies absoliutas. Jeigu priimti, kad visą pasaulį užpildo eteris, tai to eterio labai didelis elastingumas, arba kietumas, iš vienos pusės ir jo taip pat didelis masingumas iš kitos pusės, sąryšį su ta jo savybe, kad kūnai slenka jame be jokio trynimosi, galima suprasti tik priėmus, kad tasai eteris susideda iš labai mažų verpetų, kurie sukasi šviesos greičiu. Kada prie sukimo prisideda relatyvi verpetų translacija, tai tie verpetai virsta elektronais arba protonais, vadinasi, virsta tuo, ką mes, paprastai, vadiname mase. Taigi, eteris yra tasai bendras medžiaginio pasaulio substratas, kuriame darosi materija ir kuriame ji nyksta virstama vėl eterio verpetais. Bet tai yra hipotezė. O faktas yra tiek, kad mes turime neapsakomus energijos išteklius ten, ką mes vadiname mase ir tose sistemose, kurias mes vadiname atomais. Šią energiją mes jau anksčiau pavadinome konstitucine materijos energija, kad atskirtum ją nuo priprastų mums kinetinės ir potencinės energijos formų, kurios pareina nuo fiziškų kūnų arba molekulių judėjimo ir jų relatyvios padėties vienas kito atžvilgiu. Šiandien mes sugebame naudotis savo gyvenimo reikalams tikrai tokia fizinių kūnų arba molekulių energija. Bet aprašyti šitam straipsny fenomenai duoda vilties, kad ilgainiui gal žmogui bus prieinama ir atomų konstitucinė energija arba net ir ta energija, kuri glūdi priprastoje mums masėje. Taip statant klausimą, kurie procesai palaiko saulės ir žvaigždžių baisų karštį, šių dienų fizikai ir astronomai neranda tam kito energijos šaltinio, kaip atomų energija. Skeptikams gal šita perspektyva, sunaudoti konstitucinę atomų ir masės energiją, gali atrodyti juokinga, bet reikia pasakyti, kad pagaliau rezoną turi ne skeptikai, bet gilios minties entuzijastai. Juk ir šiandien dar mes negalime atsakyti klausimą, kas tai yra iš esmės šiluma? Mes tik žinome, kad tarp šilimos ir mechaninės energijos, arba darbo, visuomet veikia ekvivalentingumo santykis ir mes laikomės hipotezės, kad šiluma yra molekulių kinetinė energija. XVIII šimtmečio vidury Watt'ui patsisekė konstruoti mašina, kurios pagalba buvo sunaudota kinetinė molekulių energija naudingam žmogui darbui gauti ir lokomocijos tikslams. Kodėl gi būtų negalima sunaudoti tokiems tikslams atomų judėjimo, arba ta energija, kuri glūdi masėje ir apie kurią duoda supratimą pavyzdys, duotas šito straipsnio 3-me §, kur suskaityta energija, pasiliuosuojanti susidarant helio branduoliui iš protonų. Šiandien pavidalu žaislo, kuris rodomas buvo šių metų Londono parodoje, mes turime tokį vagonėlį, kuris slenka priekyn išmesdamas iš užpakalio α -daleles, nelyginant kaip raketa, kuri, išmesdama dalį savo medžiagos iš uodegos, dideliu greičiu šauną į priešingą pusę. Taigi, galima sau įsivaizdinti, kad ateity bus tokie aeroplanai, kurie lėks erdvėje, nelyginant kaip raketos, vartodami savo medžiagą ir apšilimą suvartodami tik labai mažą dalį savo masės, jeigu tik pasiseks surasti tokį veiksni, kuris ves prie tos masės dezintegracijos. Arba, kadangi šviesos spindulys turi judėjimo momentą ir reiškia spaudimą, tai galima sau įsivaizdinti tokį aparatą, kuris bus propeleriu, išmesdamas pakankamai daug šviesos. Pagaliau mes šiandien žinome, kad magnetizmas yra ne kas kita, kaip verpetiško judėjimo energija ir todėl galimas daiktas, kad bus surastas toks prietaisas, toksai, jeigu norite, magnetinis sraigtas, kurio pagalba galima bus šitų magnetinių verpetų energiją sunaudoti translacijai, nelyginant kaip nedidelis sraigtas, sukdamasi ir sudarydamas verpetus vandeny, varo milžiną garlaivį. Gal kas pasakys, kad tai yra svajonės ir daugiau nie-

ko. Bet kada daugiau kaip prieš 2000 metų Heronas Egipte, Aleksandrijoje, rodė savo varinį rutulį, kuris smarkiai sukėsi veržiantis iš jo per dvi skyles, atkreiptas į priešingas puses, vandens garams, tai turi būti tuomet ir į galvą niekam negalėjo ateiti mintis, kad šitas žaismas bus padėtas pagrindan Parsono garinės turbinos, kurios galingumas yra lygus 10.000 arklių. Reikia tik tikėtis, kad progresas fizikoje nurodyta čia prasme eis lygiagrečiai su žmogaus proto ir doros augimu, nes neprotingo ir nedoro sutvėrimo rankose šitie neapsikomi energijos ištekliai gali virsti tik didžiausios nelaimės priežastimi. Bet kad fizikams ir chemikams pasiseks pritaikinti gyvenimo reikalams konstitucinė atomų ir masės energija, galima tikėtis remiantis praeities pavyzdžiais. Newtonas atėjo tada, kada jau buvo pakankamai išsiplėtojusi astronomija ir sukūrė tikrus dinamikos pagrindus. Newtono dinamika prisidėjo fizikai išplėtoti kaip precizijos mokslui ir tiksliai po Newtono galimas buvo Wattas ir jo garinė mašina. Iš to, kas anksčiau šitame straipsnyje išdėstyta, aišku, kad chemija randasi dabar XVI ir XVII šimtmečių astronomijos fazėje ir yra pasiekusi, taip sakant, tą raidos laipsnį, ant kurio Kepleris pastatė astronomiją. Vadinasi, prisiima tik dirbti ir laukti, kol pasirodys chemijos Newtonas.

Kaunas, 7. XII. 1924.



18698 13221 20

Kiti prof. V. Čepinskio mokslo darbai.

A. Originalūs:

1. Ueber die Aenderung der freien Energie bei geschmolzenen Halogenverbindungen einiger Schwermetalle (Zeitschrift für Anorganische Chemie, Band XIX, 1899).

2. Einige Messungen an Gasketten (Zeitschrift für Anorganische Chemie, Band XXX, 1902).

3. Система инж. Викарино для освѣщенія электричеством пассажирских поѣздов в Россіи (Напечат. в Трудах III Всероссийскаго Съѣзда Электротехников 1902 г.).

4. Fizikos paskaitos:

I skyrius—Mechanika.

II „ —Hydrodinamika ir Aerodinamika.

III „ —Šilima.

IV ir V skyriai—Bangų mokslas ir Garsas.

(Lietuvos Švietimo Ministerijos leidiniai).

B. Vertimai ir kompiliacijos:

1. „Свѣтъ видимый и невидимый“ — проф. Сильвануса Томпсона, перев. с англійскаго, изд. Павленкова.

2. „Электричество“ проф. Греча, перев. с нѣмецкаго, изд. Губинскаго.

3. Біографія Георга Вашингтона, составил В. Чепинскій, изд. Павленкова.

VDU biblioteka



090 00211769 1

Mūsų laikai—gamtos mokslo stebuklų laikai
 Todel tas nėra tikras šių laikų inteligentas, kuris
 nėsėka šių dienų suoliais einančios gamtos mokslo pa-
 žangos. Apie tą pažangą aktualiai informuoja vienintelis
 lietuvių kalba

Gamtos ir gretimų mokslų žurnalas

KOSMOS

„KOSMUI“ bendradarbiauja:

Lietuvos Universiteto profesorai ir docentai, kaip antai:
 J. Butkevičius, V. Čepinskis, Pr. Dovydaitis, O. Folkis, A. Gylys,
 T. Ivanauskas, P. Jodelė, St. Kolupaila, B. Kuodaitis, E. Landau,
 K. Pakštas, K. Regelis, J. Šimkus, L. Vailionis—

Dotnavos Žemės Ūkio Akademijos ir Technikumo profesoriai, docentai bei mokytojai, kaip antai: J. Elisonas, Pr. Jucaitis,
 J. Rudzinskis, P. Matulionis, St. Mostauskis, V. Vilkaitis—

ir visa eilė šiaip gamtininkų—gamtos mokslo, medicinos
 ir inžinerijos daktarų, kandidatų ir mokytojų, kaip antai: Br.
 Banaitis, J. Gasiūnas, D. ir V. Jasaitis, A. Juška, St. Olšauskas,
 Č. Pakuckas, A. Puodžiukynas, A. Račiukaitis, A. Vireliūnas
 ir kt.

1925 metais „KOSMOS“ išeina šešis kartus 64—80
 pusl. didumo knygomis.

PRENUMERATOS KAINA:

Visų mokyklų moksleiviams, studentams ir pradžios mo-
 kyklų mokytojams—metams 15 litų, pusei metų 9 litai.

Visiems kitiems—metams 20 litų, pusei metų 12 litų.

Prenumeratos pinigus siųsti adresuojant:

„KOSMO“ Administracijai, Kaune, Rotušės Aikštė Nr. 6.

Redakcijos adresas: Kaunas, Ukmergės plentas 38 B.

Dar yra nedidelis skaičius ir praeitų metų „KOSMO“ kom-
 plektų šiaja kaina:

1924 metų ketverios knygos (pilnas komplektas)—15 litų.

1922—23 m. trejos knygos (pilnas komplektas)—10 litų.

1920—21 m. dvejios knygos (nepilnas komplektas)—10 litų.

Gaunami ten pat—„Kosmo“ Administracijoje.